

Analyse von Aktivitäten eines Fahrzeugführers zur Verhaltensbeschreibung am Beispiel des Fahrstreifenwechsels

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Ingmar Langer, M.Sc.

aus Wiesbaden

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. phil. Klaus Bengler
Tag der Einreichung:	27. Juni 2016
Tag der mündlichen Prüfung:	25. Oktober 2016

Darmstadt 2016

D17

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit, abgesehen von den in ihr ausdrücklich genannten Hilfen, selbständig verfasst habe.

Danksagung

Mein erster Dank gilt Herrn *Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder*, der mich als Doktorvater immer bei meinem Promotionsvorhaben unterstützt hat und mir die nötigen Freiräume bei der Themenfindung gelassen hat. Ebenso möchte ich mich für die sehr produktive Zusammenarbeit während meiner Zeit als Doktorandensprecher des Instituts bedanken.

Herrn *Prof. Dr. phil. Klaus Bengler* danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats und für den wertvollen Austausch rund um das Forschungsprojekt UR:BAN. Auch bei den weiteren Mitgliedern der Prüfungskommission möchte ich mich recht herzlich bedanken.

Bezogen auf das tägliche Arbeiten am Institut für Arbeitswissenschaft möchte ich ausnahmslos allen Kollegen danken. Ich habe mich immer sehr wohl gefühlt. Ein paar Kolleginnen/Kollegen möchte ich jedoch noch namentlich erwähnen: *Bettina Abendroth* - vielen Dank für Deine Unterstützung während meiner Promotion, besonders während der Schreibphase und für das Vorleben einer perfekten (Gruppen-)Leitung. *Matthias Pfromm* - danke dafür, dass man sich mit Dir sehr gut sowohl thematisch austauschen als auch sportlich messen konnte. *Lukas Bier* - Dir danke ich dafür, dass Du mir durch Deinen Ehrgeiz und Deine Verbissenheit zu eigenen Höchstleistungen verholfen hast. *Ilka Zöller* - Dir gilt mein Dank hinsichtlich Deiner Offenheit und Hilfsbereitschaft und dafür, dass du die „Promotions-Latte“ sehr hoch gehängt hast. *Dorothee Müglich* - danke dafür, dass Du mich einerseits diverse Male „medizinisch versorgt“ hast und andererseits für viele lustige Erinnerungen rund um die Mittagspause oder den Konferenzbesuch in Australien. *Marius Oberle* - danke für den wertvollen Ideenaustausch und das Wirken als „Sparringspartner“ während der Schreibphase. *Andreas Müller* - danke, dass Du mir gegen Ende meiner Promotionsphase einiges an Arbeit abgenommen hast.

Meinem direkten Projektkollegen *Jens Heine* gilt ebenfalls ein großes Dankeschön. Ich bin froh, dass wir so gut zusammengearbeitet haben - andernfalls hätte sehr wahrscheinlich sowohl das Projekt als auch die Dissertation nicht so erfolgreich geendet. Den weiteren Kollegen der Adam Opel AG möchte ich ebenso wie allen Kollegen aus dem Teilprojekt VIE in UR:BAN danken.

Auch bei allen Studentinnen und Studenten, die im Rahmen ihrer Abschlussarbeit oder Tätigkeit als Hilfskraft an dieser Arbeit mitgewirkt haben, möchte ich mich bedanken. Besonders hervorheben möchte ich hierbei *Felix Holzheimer, Jan Zitzmann, Fabian Sommer, Maximilian Bauer, Natacha Fernandes Estrella, Kazim Uzar* und *Steffen Schulz*.

Bezogen auf meine Familie möchte ich auch einigen Personen danken. Meinen Eltern *Monika* und *Wolfgang* für die gesamt geleistete Unterstützung während meines bisherigen Lebens - ich bin froh zu wissen, dass ich immer auf Euch zählen kann. Meiner Schwester *Julia* für das Vormachen eines erfolgreichen schulischen und studentischen Werdegangs und die Herzlichkeit, die Du als meine große Schwester hast. Meiner Tante *Sigi* und meinem Onkel *Peter* für sehr wertvolle Ratschläge in meinem Leben inkl. der Studien- bzw. Berufswahl. Zu guter Letzt gilt mein besonderer Dank meiner Freundin *Milena* - danke für Deine Unterstützung und Liebe - ich bin sehr froh Dich an meiner Seite zu haben.

Zusammenfassung

Fahrerassistenzsysteme in modernen Fahrzeugen tragen dazu bei, dass in den letzten Jahren weniger Unfälle passieren und auch weniger Teilnehmer am Straßenverkehr verletzt oder getötet werden. Die Systeme warnen den Fahrer vor einer drohenden Gefahr oder greifen bei kritischen Situationen in die Fahrzeugführung ein. Dabei kann es jedoch vorkommen, dass der Fahrer die Gefahr selbst noch abgewendet hätte und er sich somit von dem System bevormundet fühlt oder die Warnung bzw. den Eingriff als fehlerhaft bzw. nicht notwendig ansieht, wodurch die Akzeptanz zu den Systemen sinken kann. Schaltet er deshalb die Systeme ab, fehlt nachfolgend die wichtige Unterstützungswirkung. Um fehlerhafte bzw. nicht notwendige Interventionen der Assistenzsysteme zu vermeiden, kann versucht werden das kurzfristige zukünftige Verhalten des Fahrers über eine Fahrerintentions- oder auch Fahrerabsichtserkennung vorherzusagen. Da beim Fahrerverhalten jedoch intra- und interindividuelle Unterschiede auftreten und es generell als sehr komplex und veränderlich zu bezeichnen ist, gibt es hohen Forschungsbedarf bei der Thematik des Fahrerverhaltens und seiner Vorhersage. Bei näherer Betrachtung fällt eine konkrete Forschungslücke auf. Es ist keine allgemeingültige Beschreibungsmethode vorhanden, die eine gezielte Analyse des IST-Verhaltens des Fahrers bei der Fahrzeugführung ermöglicht. Es können lediglich Ansätze zur Beschreibung des SOLL-Verhaltens ermittelt werden, die jedoch nur sehr bedingt bei der Verhaltensanalyse helfen.

In der vorliegenden Arbeit wird daher eine Beschreibungsmethode des Fahrerverhaltens erarbeitet. Diese soll ein grundsätzlich besseres Verständnis zum Fahrer und seinem Verhalten bei der Fahrzeugführung ermöglichen, um Erkenntnisse hinsichtlich einer Vorhersage erarbeiten zu können. Bei der Entwicklung der Beschreibungsmethode wird ein deduktiver Ansatz gewählt. Dies bedeutet, dass die Beschreibungsmethode aus theoretischen, allgemeingültigen Erkenntnissen abgeleitet wird. In der Arbeit wird festgelegt, dass das Verhalten auf Basis einzelner Aktivitäten beschrieben wird. Aktivitäten sind dabei als einzelne messbare „elementare Teilschritte“ im Verhalten zu verstehen. Zentrales Element der Beschreibungsmethode ist ein Katalog zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers. Der Katalog besteht aus insgesamt sechs Katalogklassen (visuelle Informationsaufnahme, Querführung, Längsführung, Signalgebung, Schaltvorgänge und sonstige Aktivitäten), zu denen über Messgrößen analysierbare Eigenschaften und Ausprägungen aus der Literatur abgeleitet werden. Auf Basis des Katalogs ist es möglich das Fahrerverhalten bei der Fahrzeugführung zu beschreiben und damit mögliche Muster im Verhalten, die zu einem spezifischen Manöver gehören können, zu identifizieren. Die Beschreibungsmethode, zu der auch eine Visualisierungsmöglichkeit erarbeitet wurde, wird anschließend beispielhaft angewendet, um die Eignung hinsichtlich der IST-Analyse des Fahrerverhaltens prüfen zu können. Als Beispielmanöver dieser Anwendung wird der Fahrstreifenwechsel nach links genutzt, da im zu erwarteten Verhalten dieses Manövers sehr viele Aspekte der Beschreibungsmethode enthalten sind. Zum Verhalten, welches beim Fahrstreifenwechsel zu erwarten ist, werden auf Grundlage von Literaturerkenntnissen Hypothesen formuliert und diese werden anschließend in die Beschreibungssprache der entwickelten Methode überführt. Zur Schaffung einer Datenbasis zur beispielhaften Anwendung wurden Fahrversuche im kontrollierten Feld durchgeführt. Es wurden Daten zu 167 Fahrstreifenwechseln von insgesamt 69 Probanden erhoben und hinsichtlich der vorhandenen Aktivitäten analysiert. Als Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung werden charakteristische Aktivitäten des Fahrmanövers ermittelt, die hinsichtlich einer Verhaltensvorhersage sehr hilfreich sein können. So zeigt sich, dass Fixationen des linken Außenspiegels, des Innenspiegels, des Zielfahrstreifens sowie Blicke über die linke Schulter, spezifische Lenkbeginne und Betätigungen des Fahrtrichtungsanzeigers für das Beispielmanöver charakteristisch sind. Zu diesen Aktivitäten werden zudem Analysen über Reihenfolgen und den zeitlichen Bezug zum Manöverbeginn getätigt, wodurch erweiterte Aussagen zum Fahrerverhalten im Manöver erarbeitet werden, welche für eine Absichtserkennung relevant sein können. Die Arbeit schließt mit einer Diskussion der Ergebnisse des Fahrerverhaltens, welches im Rahmen der beispielhaften Anwendung untersucht wurde. Zudem wird die entwickelte Methode diskutiert und im Ausblick wird aufgezeigt, an welchen Stellen weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich des Fahrers und seines Verhaltens besteht.

Abstract

Advanced driver assistance systems in modern vehicles have contributed to the reduction of accidents and less traffic participants being injured or killed in recent years. The systems warn the driver of imminent danger or actively interfere with the control of the vehicle in critical situations. Nonetheless, there is concern, as it can happen that the driver could have averted the danger himself and thus feels patronized by the system or perceives the warning respectively the intervention as an error or as unnecessary, which results in a decline of acceptance for the system. If the driver subsequently disables the system completely the important assisting effect is lost. To avoid erroneous or unnecessary interventions of the assistance system, we can attempt to predict the driver's short-term behaviour using driver intention recognition. As driving behaviour shows intra- and interindividual differences and is generally described as very complex and variable, the field of driver behaviour and its prediction requires intensive research. A closer consideration reveals a specific research gap. There is no universal description method available that allows a precise analysis of the driver's actual behaviour while he is driving. We can only determine approaches to describe the nominal behaviour but have only very limited use for behaviour analysis.

In the following work a method to describe the drivers behaviour is developed. This will allow for a fundamentally better understanding of the driver and his behaviour while controlling a vehicle, in order to develop new findings for a prediction. The description method is developed using a deductive approach. This means that the description method is derived from theoretical, universal findings. This work will determine that the behaviour is described on the basis of individual action steps. Action steps should be understood as singular, measurable "elementary partial steps" of the behaviour.

The central element of the description method is a catalogue of the action steps of a driver. The catalogue is comprised of a total of six classes (visual information intake, lateral guiding, longitudinal guiding, signalling, gear changes and additional action steps). From comparative literature using measured values, analysable properties and characteristics are derived. On the basis of the catalogue it is possible to describe the drivers behaviour and to identify the possible behavioural patterns that can belong to a specific manoeuvre.

The description method, that also includes a possibility for visualisation, is then used on an example to determine its suitability concerning the analysis of the drivers actual behaviour. The example manoeuvre is going to be a lane change to the left, as the expected behaviour of this manoeuvre includes many aspects of the description method. Concerning the behaviour that can be expected during the lane change, hypothesis will be formulated on the basis of a literature research which will then be translated into the description language of the developed method. In order to create a data base for the exemplary application, driving tests were carried out in a controlled environment. The data of 167 lane changes of a total of 69 test subjects was collected and analysed concerning the action steps at hand. As a result of the hypothesis verification characteristic activities of the driving manoeuvres were determined, that can be very helpful for a behaviour prediction. It has become evident that fixations on the left side mirror, the interior mirror, the target lane as well as glances over the left shoulder, specific steering action steps and use of the direction indicator are characteristic for the exemplary manoeuvres. In addition, there is an analysis of the sequence and the time reference of the start of the manoeuvre, allowing for extended predictions on the driving behaviour during the manoeuvre, which could be relevant for intention recognition.

This work will conclude with a discussion of the results of the driver behaviour that was examined during the exemplary application. In addition, the developed method will be discussed and the outlook will show where further research concerning the driver and his behaviour is necessary

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	ii
Zusammenfassung	iii
Abstract	iv
Inhaltsverzeichnis	v
1.....Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Aufbau der Arbeit	4
2.....Stand der Forschung	6
2.1. Definition zentraler Begriffe	6
2.2. Fahrerverhalten	9
2.2.1. Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten	9
2.2.2. Relevante Modelle zum Fahrerverhalten	11
2.2.3. Messgrößen des Fahrerverhaltens	15
2.2.4. Prädiktion des Fahrerverhaltens	18
2.3. Fahrmanöver	20
2.4. Fahreradaptive Fahrerassistenzsysteme	21
2.5. Methoden zur Analyse des Verhaltens eines Fahrzeugführers	23
2.5.1. Driver Education Task Analysis von McKnight, Adams und Hundt	24
2.5.2. Guidelines for Driver Instructions der OECD	26
2.5.3. Denkmittel zur Fahrausbildung des Fahrlehrerverbands Hamburg	27
2.5.4. Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben von Fastenmeier und Gstalter	27
2.5.5. Hierarchical Task Analysis of Driving von Walker, Stanton und Salmon	29
2.5.6. Fazit zu den dargestellten Analysemethoden	31
2.6. Zwischenfazit inkl. Identifizierung der Forschungslücke und Beschreibung des Vorgehens zur Beantwortung	31
3.....Methodik der Aktivitätsanalyse	35
3.1. Phasenorientiertes Fahrerverhaltensmodell	35
3.2. Beschreibungsmethode zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers	37
3.2.1. Anforderungen an die Beschreibungsmethode	37
3.2.2. Katalog zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers	40
3.2.3. Visualisierung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers	56
3.3. Beschreibung des Vorgehens zur Aktivitätsanalyse	62
3.4. Fazit zur Methodik der Aktivitätsanalyse	65
4.....Beispielhafte Anwendung der Aktivitätsanalyse zum Manöver Fahrstreifenwechsel	66
4.1. Hypothesen zur Aktivitätsanalyse zum Manöver Fahrstreifenwechsel	67
4.2. Datenerhebung zum Anwendungsbeispiel	80
4.2.1. Beschreibung der Versuche	80
4.2.2. Einschränkungen durch die Versuche hinsichtlich der Aktivitätsanalyse	83
4.2.3. Beschreibung der betrachteten Stichprobe der beiden Versuchsreihen	84

4.3.	Datenaufbereitung und Datenanalyse zum Anwendungsbeispiel	85
4.4.	Auswertung der analysierten Daten hinsichtlich der Hypothesen	90
5.....	Diskussion	101
5.1.	Diskussion der beispielhaften Anwendung	101
5.1.1.	Diskussion der Ergebnisse der aufgestellten Hypothesen	101
5.1.2.	Diskussion hinsichtlich Erkenntnissen des Fahrerverhaltens zum Beispielmanöver Fahrstreifenwechsel	105
5.1.3.	Diskussion zum Vorgehen der Aktivitätsanalyse zum Beispielmanöver	113
5.1.4.	Diskussion der Versuche zur beispielhaften Anwendung	115
5.2.	Diskussion der Methodik der Aktivitätsanalyse	115
6.....	Fazit und Ausblick	118
	Anhang	121
	Abbildungsverzeichnis	136
	Tabellenverzeichnis	138
	Abkürzungsverzeichnis	140
	Literaturverzeichnis	141

1. Einleitung

Das Kapitel Einleitung startet mit der Motivation zur vorliegenden Arbeit (Kapitel 1.1), bevor in Kapitel 1.2 die Zielsetzung der Dissertation erläutert wird. Kapitel 1.3 beschreibt danach den Aufbau der Arbeit.

1.1. Motivation

Die bisherigen Bestrebungen auf dem Weg zur sogenannten *Vision Zero* (dem unfallfreien Fahren, vgl. Tingvall und Haworth (1999)) haben in den vergangenen Jahren die Zahl der getöteten und verletzten Verkehrsteilnehmer im deutschen Straßenverkehr deutlich reduziert. So befindet sich die Zahl der Getöteten seit 2006 gemäß Destatis (2015) stetig unter 5.000 - im Jahr 2014 waren es 3.377 (bei 67.732 Schwerverletzten und einer Gesamtanzahl von etwas mehr als 2,4 Millionen polizeilich erfasster Unfälle). Im Vergleich dazu lag die Zahl der Getöteten Ende der 1980er-Jahre noch im Bereich von etwa 10.000 und Anfang der 1970er-Jahre bei ihrem Höchststand von über 20.000 und dies sogar, obwohl die Anzahl an Fahrzeugen und jährliche Kilometerleistung damals im Vergleich zu heute geringer war. Dennoch bleibt die weitere Reduzierung eine wesentliche Herausforderung in Forschung und Entwicklung (vgl. Benmimoun et al. (2012)).

Betrachtet man die Unfallursachen, so konnte bei 361.935 Unfällen mit Personenschaden ein Fehlverhalten der Unfallbeteiligten festgestellt werden - bei 302.435 Straßenverkehrsunfällen mit Personenschaden bedeutet dies, dass durchschnittlich 1,2 Fehler je Unfall vorlagen (Destatis (2015)). Aufgrund der Tatsache, dass menschliches Fehlverhalten demnach weiterhin die häufigste Ursache für Verkehrsunfälle ist (vgl. auch Destatis (2013)), werden vermehrt Fahrerassistenzsysteme (FAS) entwickelt und bereits vorhandene Systeme weiter optimiert (vgl. Winner et al. (2012) und Bengler et al. (2014)). FAS sind Systeme, die den Fahrzeugführer¹ bei der Ausführung seiner Fahraufgabe unterstützen bzw. entlasten sollen - insbesondere bei Fahraufgaben, die ein erhöhtes Fehlerpotenzial besitzen (Bartels et al. (2015a)). Auf diese Weise können die Systeme zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit, aber auch des Fahrkomforts beitragen. Maier (2014) kam durch eine Analyse von nationalen und internationalen Forschungsergebnissen zu dem Schluss, dass FAS einen Beitrag zur Reduktion der Unfallzahlen leisten. Auf der anderen Seite reagieren gemäß Hummel et al. (2011) Fahrer auf Warnungen, die von den FAS ausgegeben werden in der Realität aber meist nicht ideal. Aus Sicht der möglichen Minderung der Unfallschwere oder Vermeidung von Unfällen ist es wünschenswert, dass ein entsprechend vorgesehenes FAS sehr früh wirksam wird. Je früher ein System warnt oder eingreift, umso höher ist wiederum die Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrer noch selbstständig auf die drohende Gefahr reagiert hätte und sich durch die ausgegebene Warnung oder den Eingriff gestört fühlt. Dieser Aspekt, welcher als Warndilemma bezeichnet wird, kann neben häufigen Fehlauflösungen dazu führen, dass die Akzeptanz für das FAS sinkt (Fecher und Hoffmann (2015), siehe auch Meitinger (2008)) bzw. dass die Systeme deaktiviert werden, wodurch das Wirkpotential der Systeme deutlich reduziert wird (Maier (2014), siehe auch Bubb (2015b)). Gemäß Cheng und Trivedi (2006) kann eine unnötige Warnung sogar dazu führen, dass der Fahrer zusätzlich belastet wird. Zwischen dem möglichst frühen Eingreifen und der Vermeidung von unnötigem oder gar fehlerhaftem bzw. falschem Eingreifen muss demnach ein Zielkonflikt festgestellt werden. Daraus ergibt sich die Herausforderung, die Systeme so zu entwickeln bzw. abzustimmen, dass nur in Fällen, in denen es wirklich notwendig ist, durch das System eingegriffen wird und dennoch eine möglichst optimale Fahrerunterstützung erreicht werden kann (vgl. Fecher und Hoffmann (2015)).

Zur Erreichung der notwendigen Systemabstimmung, schlagen Blaschke et al. (2007) vor, den Fahrerzustand, die Fahrerabsicht, aber auch den Fahrertyp in die Bewertung der Fahrsituation durch das FAS mit einzubeziehen (siehe auch Blaschke et al. (2008)). Blaschke et al. (2007) beschreiben

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die zusätzliche Formulierung der weiblichen Form verzichtet. Der Autor möchte deshalb darauf hinweisen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form explizit als geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

ergänzend, dass FAS „nur dann optimal unterstützen, wenn die gesamte Interaktion zwischen dem Fahrer, dem Fahrzeug und der Umwelt berücksichtigt wird“ (siehe auch Schneider (2009), vgl. Donges (1982) und König (2015)). Auch Gründl (2002) stellt fest, dass FAS sorgfältig an den Fahrer angepasst sein müssen. Donges (2015) spricht davon, dass technisch gestaltbare Komponenten, worunter auch FAS fallen, an den Fahrer und seine Leistungsfähigkeit angepasst sein sollten. Der Autor nennt sog. Fahrermodelle, die das Verhalten von Fahrern während der Fahraufgabe zusammenfassen als wichtige Grundlage für diese Anpassung. Auch Bengler et al. (2014) betonen, dass FAS hinsichtlich der individuellen „Präferenzen und Anforderungen“ des Fahrers anpassbar sein sollten und dass dafür die gesamte Mensch-Maschine-Interaktion betrachtet und optimiert werden muss. König (2015) stellt fest, dass FAS „nicht allein aus technischer Sicht gestaltet werden“ können, sondern dass der Fahrer mit seinen Gewohnheiten, Fähigkeiten, aber auch Defiziten betrachtet werden muss. Zur Erhöhung der Akzeptanz von FAS ist es gemäß Kasper (2012) entscheidend, dass diese genauso gut oder besser als ein Fahrer auf verschiedene Situationen reagieren, wozu eine Analyse der vorliegenden Situation und ein daraus gewonnenes Verständnis notwendig ist.

Bei den bisher genannten Informationen über den Fahrer bietet vor allem die Integration der Information zur Fahrerabsicht ein enormes Potenzial die FAS an den Fahrer anzupassen und damit deutlich zu verbessern (siehe dazu auch Zademach (2016)). Die Fahrerabsicht meint in diesem Zusammenhang primär, welches Manöver der Fahrer in naher Zukunft durchführen wird (vgl. Kretschmer et al. (2006)) - dies wird auch als Fahrerverhaltensprädiktion oder Fahrerintentionserkennung bezeichnet. Gemäß Bengler et al. (2014) ist eine Fahrerintentionserkennung eines der zukünftigen Felder, auf das bei der Entwicklung von FAS geachtet werden muss (siehe auch Winner (2015)). Zudem wird von den Autoren die Wichtigkeit von Intentions- und Verhaltensmodellen betont, die es ermöglichen können, das Verhalten des Fahrers oder auch anderer Verkehrsteilnehmer vorherzusagen. Liegt dem FAS die Information vor, welches Manöver vom Fahrer zeitnah geplant wird, kann eine gezielte Warnung bzw. ein gezielter Eingriff durch das Assistenzsystem möglich gemacht werden und unnötige Warnungen oder Eingriffe können verhindert werden (vgl. Blaschke et al. (2007)). Auch Cheng und Trivedi (2006) betonen die Wichtigkeit, den Fahrer mit seinem Verhalten in die Funktionalität der FAS einzubeziehen. Eine große Herausforderung bei der Prädiktion des Fahrerverhaltens ist die Tatsache, dass Verhalten gemäß Risse (1991) äußerst komplex und veränderlich ist - es unterliegt sogenannten inter- und intraindividuellen Unterschieden. So kann es bspw. vorkommen, dass auch dieselben Fahrer beim mehrfachen Durchfahren von vergleichbaren Situationen ein unterschiedliches Blickverhalten zeigen (vgl. INVENT (2005)). Trotz der vorhandenen Komplexität und Veränderlichkeit ist es möglich die Durchführung von einzelnen Fahrmanövern mit Hilfe von z.B. Maschinenlernverfahren wie Fuzzy Logic oder Bayes'schen Netzen vorherzusagen (vgl. Heine (i.V.), siehe dazu auch Kapitel 2.2.4). Bisherige Arbeiten (bspw. Blaschke et al. (2008) oder Berndt et al. (2008)) zeigen die grundsätzliche Möglichkeit der Erkennung von Intentionen oder der Vorhersage des Verhaltens und geben Hinweise zu positiven Auswirkungen auf die Wirksamkeit und Akzeptanz von FAS. Trotzdem bedarf es weiterer grundsätzlicher Forschung hinsichtlich des Fahrers und seines Verhaltens. So nennen Bengler et al. (2014) die Schaffung von Konzepten zur Bewertung des Fahrers und seiner Fahrleistung als einen der zukünftigen Forschungsschwerpunkte hinsichtlich FAS. Ein weiterer Grund des Bedarfs an weiteren oder neuen Ansätzen kann darin gesehen werden, dass vorhandene Vorhersagemethoden oftmals auf maschineller Verarbeitung beruhen und dadurch teilweise nicht oder nur schwer nachvollziehbar sind (siehe dazu Kapitel 2.2.4). Des Weiteren fehlen Möglichkeiten, das Verhalten des Fahrers theoretisch zu betrachten (vgl. Kapitel 2.5 bzw. Kapitel 2.6).

1.2. Zielsetzung

Aus dem in Kapitel 1.1 dargestellten Bedarf den Fahrer und sein Verhalten in die Entwicklung und Nutzung von FAS einzubeziehen, kann abgeleitet werden, dass eine Modellierung des Fahrers und seines Verhaltens äußerst sinnvoll ist (siehe auch Donges (2015) und Bengler et al. (2014)). Auch Irmscher (2001) schlussfolgert, dass für die Möglichkeit der adaptiven Anpassung der FAS an den Fahrer „ein Modell des individuellen Fahrerverhaltens als Systembestandteil“ nötig ist. Eine

entsprechende Modellierung bzw. Beschreibung kann angelehnt an Schurz (2014) entweder deduktiv oder induktiv ablaufen (vgl. auch Saint-Mont (2011)). Abbildung 1 verdeutlicht die beiden Möglichkeiten und zeigt, dass bei einer *deduktiven* Herangehensweise, welche auch als *top down* bezeichnet werden kann, aus allgemeinen Theorien „besondere“, d.h. spezifische Aspekte geschlossen werden können. Bei einer *induktiven* Herangehensweise (auch *bottom up* genannt) werden hingegen aus einer spezifischen Beobachtung Erkenntnisse mit einer möglichst hohen Allgemeingültigkeit erarbeitet.

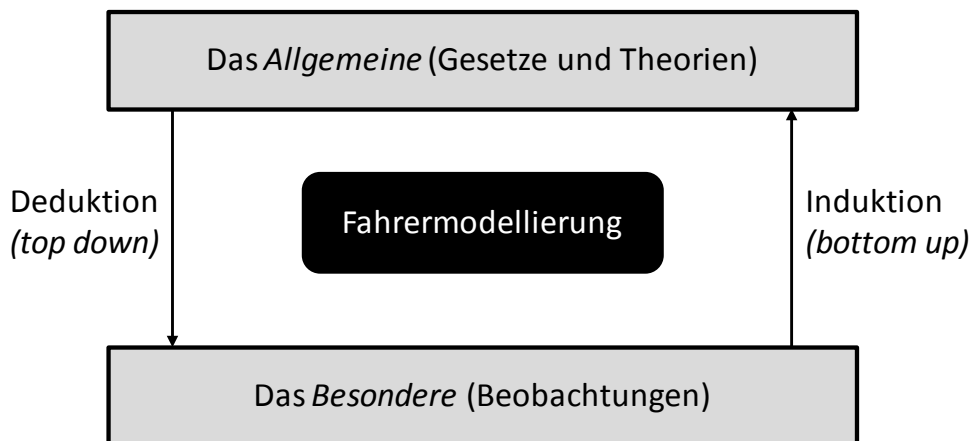


Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Deduktion und Induktion bei einer Fahrermodellierung (angelehnt an Schurz (2014), ebenfalls in Heine (i.V.) enthalten)

Beide Herangehensweisen besitzen ihre Berechtigung und verfügen über Vor- und Nachteile (siehe dazu Schurz (2014)) und es ist möglich beide Herangehensweise kombiniert zu durchlaufen. Während bei einer Deduktion allgemeingültige Ergebnisse erzielt werden können, die eine gute Belastbarkeit und damit Übertragbarkeit aufweisen, die Herangehensweise aber grundsätzlich als etwas komplexer bezeichnet werden kann, zeichnet sich eine Induktion eher durch eine Anwendungsorientierung aus, während dem gegenüber der Nachteil einer vorhandenen Unsicherheit bzgl. der Übertragbarkeit der Ergebnisse steht, da nicht immer logisch zwingende Schlüsse gezogen werden können. Zadernach (2016) verwendet eine Kombination der beiden Herangehensweisen bei der Analyse des Fahrerverhaltens an innerstädtischen Kreuzungen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Ziel postuliert, sich der Beschreibung bzw. Analyse des Fahrers und seines Verhaltens deduktiv zu nähern, da diese Herangehensweise wie oben erwähnt eine hohe Belastbarkeit und damit gute Übertragbarkeit verspricht. Zudem sind viele Ansätze, die aktuell erarbeitet werden eher induktiv (auf bereits vorhandene Algorithmen zur Verhaltensprädiktion wird in Kapitel 2.2.4 eingegangen) wodurch weiterhin eine Lücke bzgl. deduktiver Ansätze besteht. Des Weiteren bietet sich der Ansatz zur Schaffung einer methodischen Basis für weitere Analysen an und kann auch für eine daran angeschlossene induktive Bearbeitung hilfreich sein. Nichtsdestotrotz besteht auch weiterhin grundsätzlicher Bedarf an der anwendungsorientierten Herangehensweise einer Induktion. Zusammenfassend wird folgendes Hauptziel für diese Arbeit formuliert:

Entwicklung einer **Methode zur Beschreibung des Fahrerverhaltens** mit möglichst hoher Allgemeingültigkeit **nach einem deduktiven Ansatz** (*top down*) und anschließende **Analyse des Fahrerverhaltens auf Basis der entwickelten Beschreibungsmethode**

Demnach wird in dieser Arbeit die linke Hälfte der schematischen Darstellung aus Abbildung 1 bedient. Eine induktive Herangehensweise, also die rechte Hälfte der Abbildung, wird hingegen durch die parallel entstehende Arbeit Heine (i.V.) durchgeführt. Es besteht die begründete Hoffnung, dass nachdem eine Beschreibungs- bzw. Analysemethode nach dem *top down* Ansatz entwickelt wurde, zielgerichteter aus theoretischer Sicht an der Anpassung von FAS an den Fahrer gearbeitet werden kann, sodass in einem der nächsten Schritte die Akzeptanz und Wirksamkeit der Systeme gesteigert werden kann (vgl. Kapitel 1.1).

Die in der Zielsetzung angesprochene Analyse des Fahrerverhaltens auf Basis der entwickelten Methode sollte zu einem Beispielmanöver durchgeführt werden, um die Eignung hinsichtlich der Möglichkeit einer Verhaltensprädiktion gezielt untersuchen zu können. Das Manöver sollte dazu möglichst hohe Anforderungen an das Fahrerverhalten beinhalten. Dies bedeutet, dass sowohl eine gezielte Umfeldabsicherung durch den Fahrer, als auch Aspekte der Längs- und Querführung für das Manöver essentiell sein sollten. Das Manöver des Fahrstreifenwechsels erfüllt diese Vorgaben und besitzt auch aus unfallstatistischer Sicht eine gewisse Relevanz (vgl. Destatis (2015) und Henning (2010)). Daher wird an dieser Stelle festgelegt, dass die Anwendung der zu entwickelnden Beschreibungsmethode zum Beispielmanöver „Fahrstreifenwechsel“ durchgeführt werden soll.

1.3. Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in insgesamt sechs Hauptkapitel. Nach der zuvor dargestellten Einleitung (Kapitel 1), in der die Motivation und die Zielsetzung der Arbeit beschrieben ist, folgt der Stand der Forschung (Kapitel 2). In Kapitel 2.1 werden zunächst grundlegend wichtige Begriffe im Rahmen dieser Arbeit definiert bzw. voneinander abgegrenzt, bevor Details zum Fahrerverhalten erläutert werden (Kapitel 2.2). Dabei werden Einflussfaktoren auf das Verhalten, Modelle des Verhaltens, Verhaltensmessgrößen und Prädiktionsansätze beschrieben. In Kapitel 2.3 wird eine Übersicht zu Fahrmanövern gegeben. Darauf folgend (Kapitel 2.4) werden FAS aufgezeigt, die bereits den Fahrer und sein Verhalten in Grundzügen als zusätzliche Eingangsgröße enthalten und in Kapitel 2.5 werden aktuell vorhandene Methoden zur Analyse des Verhaltens eines Fahrzeugführers beschrieben. Dabei wird ermittelt, dass primär Aufgabenanalysen vorhanden sind, es jedoch sehr wenige Ansätze gibt, die eine Analyse des tatsächlich gezeigten Verhaltens fokussieren. In Kapitel 2.6 wird ein Zwischenfazit dieser Arbeit gezogen, die identifizierte Forschungslücke samt Forschungsfragen wird vorgestellt und es wird aufgezeigt, wie im weiteren Verlauf hinsichtlich der Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen vorgegangen wird.

Um eine Methode der Beschreibung des zu erwartenden Fahrerverhaltens zu schaffen, mit Hilfe derer Analysen des Verhaltens auf der Ebene von Aktivitäten (siehe dazu Kapitel 2.1) möglich sind, befasst sich das dritte Kapitel mit der Entwicklung einer Beschreibungsmethode. Aus der Literatur wird zu Beginn des dritten Kapitels ein phasenorientiertes Fahrerverhaltensmodell (Kapitel 3.1) abgeleitet. Dieses zeigt auf, welche Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten wirken und welche unterschiedlichen Phasen bzgl. der Intention zu einem Verhalten bzw. zur eigentlichen Ausführung durchlaufen werden. In Kapitel 3.2 wird die eigentliche Beschreibungsmethode hergeleitet. Dabei werden nach Identifikation der grundlegenden Struktur die insgesamt sechs Klassen des Aktivitätskatalogs beleuchtet. Im Rahmen der Methode wird das Verhalten diskretisiert, indem einzelne konkrete Aktivitäten über Wertebereiche von unterschiedlichen Messgrößen beschrieben werden. Die Diskretisierung lässt es dennoch zu Details im Verhalten zu finden, da es eine teils recht feine Unterteilung der Wertebereiche der Messgrößen in der Beschreibungsmethode gibt. Der Detailgrad der Beschreibungsmethode kann dementsprechend als hoch bezeichnet werden. Kapitel 3 schließt mit Erläuterungen zum Vorgehen zur Aktivitätsanalyse (Kapitel 3.3) und einem Fazit zur Methodik der Aktivitätsanalyse in Kapitel 3.4.

Nachdem in Kapitel 2.2 bereits erste Details zu allgemeinem Fahrerverhalten aufgezeigt wurden, werden zu Beginn der beispielhaften Anwendung der entwickelten Methode in Kapitel 4 konkrete Aussagen zu einem zu erwartenden Verhalten beim Beispielmanöver des Fahrstreifenwechsels in Form von Hypothesen aus der Literatur abgeleitet (Kapitel 4.1). Die damit einhergehende Analyse ermöglicht es ein besseres Verständnis zum realen Verhalten während des Manövers zu erlangen. Mit diesem wird es möglich FAS gezielt an das Fahrerkollektiv anzupassen, um dem sog. Warndilemma begegnen zu können (vgl. Kapitel 1.1). Da menschliches Verhalten grundsätzlich als komplex und veränderlich zu bezeichnen ist (vgl. Risse (1991)), kann die Identifikation eines „Gesamtverhaltens“ ausgehend aus Literaturerkenntnissen gemäß dem deduktiven Ansatz (vgl. Kapitel 1.2) zu dem Beispielmanöver als sehr herausfordernd bezeichnet werden. Die wenigen vorhandenen Ansätze, die das Verhalten während des gesamten Manövers beschreiben, sind sehr stark idealisiert und zeigen auf, wie sich der Fahrer bestmöglich verhalten sollte. Diese idealisierten Abläufe, die bspw. in Rahmen der

Fahrausbildung gelehrt werden (siehe dazu Kapitel 2.5), werden erwartungsgemäß jedoch nur sehr selten im Fahralltag lückenlos durchlaufen. Da in dieser Arbeit das real zu erwartende Verhalten fokussiert wird, wird das Gesamtverhalten in kleinere Teile zergliedert, schrittweise hergeleitet und später dementsprechend schrittweise untersucht. Die zugehörigen Hypothesen zum Fahrerverhalten beim Fahrstreifenwechsel befassen sich im ersten Schritt mit dem potentiellen Vorhandensein einzelner charakteristischer Aktivitäten im realen Verhalten. In einem weiteren Schritt werden diese charakteristischen Aktivitäten bzgl. einer möglichen festen Reihenfolge beleuchtet, da Analyseergebnisse einer festen Reihenfolge charakteristischer Aktivitäten für eine später angedachte Anwendung der Erkenntnisse bzw. der Methode in einem Erkennungsalgorithmus sehr wertvoll wären. Zur tieferen Analyse eines Gesamtverhaltens wird anschließend der zeitliche Bezug der charakteristischen Aktivitäten im Manöver bzw. zum Beginn des Manövers untersucht. Ebenfalls wichtig ist es, zu untersuchen, ob das Verhalten der Probanden als gleichmäßig bezeichnet werden kann, da erst bei zumindest teilweise gleichmäßigen Verhaltensweisen eine gute Vorhersagbarkeit eines zukünftigen Verhaltens erreichbar ist. Dementsprechend wird die Gleichmäßigkeit im Verhalten in einer eigenen Hypothesengruppe untersucht. Durch die Formulierung der unterschiedlichen Hypothesen kann in gewisser Weise trotz der grundsätzlichen Schwierigkeit ein zu erwartendes Gesamtverhalten beschrieben werden. Aus der Kombination der Einzelergebnisse kann ausgehend von der Auswertung der Hypothesen (Kapitel 4.4) im weiteren Verlauf der Arbeit eine Aussage zum Abgleich zwischen erwartetem Gesamtverhalten und realem Verhalten getätigt werden. Diese Aussage beinhaltet Erkenntnisse, die zur Unterstützung einer nachgeschalteten Entwicklung eines Vorhersagealgorithmus gemäß dem induktiven Vorgehen (vgl. Kapitel 1.2) verwendet werden können. Vor der Auswertung der Hypothesen in Kapitel 4.4, werden in Kapitel 4.2 Details zur Datenerhebung genannt, mit Hilfe derer die Datenbasis der Auswertung geschaffen wurde. In Kapitel 4.3 wird zudem angelehnt an die Festlegungen in Kapitel 3.3 das Vorgehen bei der Datenaufbereitung und -analyse im Rahmen der vorhandenen beispielhaften Anwendung detailliert beschrieben. Die Diskussion in Kapitel 5 gliedert sich in zwei Teile. Im ersten (Kapitel 5.1) werden die einzelnen Erkenntnisse aus der beispielhaften Anwendung thematisiert. Dabei werden neben den Ergebnissen der aufgestellten Hypothesen auch weiterführende Erkenntnisse zum Fahrerverhalten auf Basis der Kombination einzelner Erkenntnisse beleuchtet. Es wird der Abgleich zwischen theoretisch erwartetem und beobachtetem Verhalten abgeschlossen, indem ein Musterablauf im Verhalten aus den Erkenntnissen aus Kapitel 4 gebildet wird und indem unterschiedliche Abhängigkeiten der identifizierten Aktivitäten nochmals zusammengefasst interpretiert und diskutiert werden. Zudem wird das Vorgehen der Aktivitätsanalyse zum Beispielmanöver und die zugrundeliegenden Versuche thematisiert. In Kapitel 5.2 wird anschließend die Beschreibungsmethode aus Kapitel 3 in den Fokus gerückt. In Kapitel 6 wird einerseits ein Fazit der gesamten Arbeit gezogen, in welchem erneut auf die in Kapitel 2.6 aufgestellten Forschungsfragen eingegangen wird. Auf der anderen Seite wird ein Ausblick gegeben, welche Aspekte im Anschluss an diese Arbeit noch angegangen werden sollten.

2. Stand der Forschung

Das folgende Kapitel befasst sich zunächst mit der Definition zentraler Begriffe dieser Arbeit (Kapitel 2.1), bevor in Kapitel 2.2 Details zum Fahrerverhalten beschrieben werden. Kapitel 2.3 hat eine Übersicht zu unterschiedlichen Fahrmanövern zum Inhalt. Kapitel 2.4 thematisiert danach fahreradaptive Fahrerassistenzsysteme und fokussiert damit kurzzeitig den aktuellen Stand der Technik, während in Kapitel 2.5 vorhandene Ansätze einer Verhaltensanalyse vorgestellt werden, bevor in Kapitel 2.6 ein Zwischenfazit gezogen wird und die Forschungslücke beschrieben wird.

2.1. Definition zentraler Begriffe

Im Folgenden werden die Begriffe Verhalten, Handlung, Tätigkeit, Operation, Bewegung, Aktion, Aufgabe und Aktivität erläutert bzw. voneinander abgegrenzt. Anschließend werden die in dieser Arbeit zentralen Begriffe Verhalten, Aktivität, Aktivitätssequenz und Aktivitätsmuster für die Verwendung in dieser Arbeit definiert.

Gemäß Margraf und Schneider (2009) beschreibt **Verhalten** die Gesamtheit der objektiv beobachtbaren Vorgänge. Funke (2003) definiert Verhalten als „jede äußerlich beobachtbare Bewegung einer Person“, wobei streng genommen keinerlei Interpretation enthalten sein darf. Zudem kann Verhalten nach Funke (2003) nicht motiviert sein bzw. eine Verhaltensweise kann nicht durch Ziele erklärt werden, sondern durch Mechanismen, welche unwillkürlicher Natur sind. Nach North et al. (1982) beschreibt Verhalten „jede Form des Agierens und Reagierens, das in Denkabläufen und Handlungen zum Ausdruck kommt“. Gemäß Rasmussen (1983) können drei unterschiedliche Ebenen des Verhaltens unterschieden werden (vgl. auch Schlick et al. (2010)). Das *wissensbasierte* Verhalten wird gemäß Donges (2015) v.a. in komplexen Situationen relevant, in denen der Mensch unvorbereitet ist und es keine trainierten Handlungsweisen gibt. Der Mensch spielt dabei in einem mentalen Prozess verschiedene Handlungsalternativen durch und überprüft die jeweilige Brauchbarkeit für das angestrebte Ziel. Bei der zweiten Ebene des Modells von Rasmussen (1983), dem sogenannten *regelbasierten* Verhalten, besitzt der Mensch nach Donges (2015) bereits ein „Repertoire von gespeicherten Verhaltensmustern“ und kann die vermeintlich effektivste Variante abrufen. Das *fertigkeitsbasierte* Verhalten, die dritte Ebene nach Rasmussen (1983), zeichnet sich wiederum gemäß Donges (2015) durch reflexartige Reiz-Reaktions-Mechanismen aus, die eintrainiert sind und stellt damit die zeitlich effektivste Form menschlichen Verhaltens dar.

Eine **Handlung** ist gemäß Achtziger und Gollwitzer (2010) hingegen selektiv menschliches Verhalten, das mit Sinn in Verbindung gebracht werden kann. Hommel (2002) definiert Handlungen als Gesamtheit der auf ein intendiertes Ziel gerichteten Bewegungen, während gemäß Funke (2003) zielgerichtetes, absichtsvolles, subjektiv sinnvolles, bewusst entschiedenes Tun unter einer Handlung verstanden wird. Nach Hammer (1997) kann eine Handlung als „komplexe Abfolge von Bewegungen, die ein Individuum ausführt, um ein Ziel zu erreichen“ verstanden werden. Die „Zerlegung menschlicher Arbeitstätigkeiten in ihre Bestandteile (Handlungen)“ beschreibt gemäß North et al. (1982) eine Handlungsanalyse, wobei eine Handlung die „kleinste psychologische Einheit der willensmäßig gesteuerten Tätigkeiten“ meint.

Schon die ersten beiden zentralen Begriffe zeigen, dass weitere Begriffe wie bspw. Vorgänge oder Bewegungen nötig sind, um Klarheit hinsichtlich einer Definition zu schaffen. Im Rahmen dieser Arbeit kommt erschwerend hinzu, dass in den relevanten Modellen zum Fahrerverhalten (siehe Kapitel 2.2.2) der Begriff Handlung für den letzten Schritt im Prozess der Informationsverarbeitung vorgesehen ist und dabei meist die motorische Ausführung meint. Demnach können „Schritte“ in früheren Prozessphasen wie der Informationsaufnahme (bspw. im Entdecken oder Erkennen) nicht mit diesem Begriff bezeichnet werden. Die Bezeichnung der Schritte mit Verhalten ist ebenfalls nicht ausreichend, da dann keine Interpretation bzw. kein Sinn hinter den Schritten gesehen werden darf. Nachfolgend

werden weitere Begriffe eingeführt und erläutert, um eine passende Begrifflichkeit für die Gesamtheit der möglichen Schritte, die durch den Fahrer ausgeführt werden, zu finden. Das gesamte Verhalten, welches z.B. für das Führen eines Fahrzeugs nötig ist, kann in Abhängigkeit der Fragestellung unterschiedlich betrachtet und in kleinere zu betrachtende Elemente zergliedert werden. In der Literatur werden Begrifflichkeiten im Rahmen dieser Zergliederung teilweise sehr unterschiedlich gehandhabt, weshalb im Folgenden auf die verwendeten Begriffe genauer eingegangen wird.

Hacker (1973) beschreibt eine **Tätigkeit** und deren hierarchischen Aufbau. Dabei kann eine Tätigkeit unterschiedliche Handlungen umfassen, während eine Handlung aus unterschiedlichen Teilhandlungen besteht. Diese Teilhandlungen werden bei Hacker (1973) als **Operationen** bezeichnet. Eine Operation kann wiederum in einzelne **Bewegungen** zergliedert werden, welche sich aus **Aktionen** eines bestimmten Muskels zusammensetzen. Hammer (1997) definiert eine Tätigkeit als „körperliche und geistige Handlung des Menschen zur Erreichung eines Ziels“. Breuer (1996) definiert Kraftfahrzeugführen als eine Tätigkeit, die sensumotorische und reaktive Inhalte enthält und gemäß Williams (2008) kann das Führen eines Kraftfahrzeuges „als eine zweck- und zielgerichtete, dynamische Tätigkeit in einem offenen System bezeichnet werden“. Donges (2015) bezeichnet das Führen eines Kraftfahrzeugs als zielgerichtete sensumotorische Tätigkeit, bei der „das Fahrzeug mit seinen Passagieren oder seinem Transportgut unter Nutzung der verfügbaren sensorischen Informationen mit Hilfe motorischer Eingriffe über die Betätigungseinrichtungen des Fahrzeugs von einem Ausgangsort zu einem Zielort“ gebracht werden muss.

Williams (2008) verwendet im weiteren Verlauf ebenfalls einen weiteren Begriff zur Beschreibung des Fahrzeugführens: Sie spricht davon, dass „die komplexe und dynamische **Aufgabe** des Kraftfahrzeugführens eine kontinuierliche Anpassung“ an teilweise sehr unterschiedliche Situationen verlangt. Zudem bedarf die Aufgabe die Koordination und Durchführung verschiedener Teilaufgaben (Allen et al. (1971), zitiert nach Saad (1991)). Gemäß Saad (1975), zitiert nach Saad (1991), ist die Fahraufgabe zudem relativ unstrukturiert. Donges (2015) bezeichnet die „aktive Teilnahme am Straßenverkehr als Fahrer eines Kraftfahrzeugs“ als „eine komplexe Überwachungs- und Regelungsaufgabe“. Die Fahraufgabe kann gemäß Bubb (2002) in primäre, sekundäre und tertiäre Aufgaben untergliedert werden. *Primäre* Aufgaben sind dabei die Stabilisierungsaufgabe, welche u.a. das Halten des Fahrzeugs auf der Straße beinhaltet, die Führungsaufgabe, bei der der gewünschte Kurs festgelegt wird und die Navigationsaufgabe, die das vorhandene Straßennetz mit dem Ziel verknüpft (vgl. auch Donges (1982)). Bubb (2002) bezeichnet Aufgaben als *sekundär*, wenn sie „verkehrs- bzw. umweltbedingt anfallen“ aber „nicht dem eigentlichen Halten des Fahrzeuges auf der Straße dienen“ - dazu gehören Aufgaben wie das Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers, des Scheibenwischers oder auch die Benutzung von Assistenzsystemen. Dem gegenüber werden Aufgaben, die „nicht mit der Fahraufgabe in Verbindung stehen, sondern lediglich dem Zufriedenstellen des Komforts-, Unterhaltungs- oder Informationsbedürfnisses dienen“ von Bubb (2002) den *tertiären* Aufgaben zugerechnet. Darunter fallen bspw. die Betätigung von Radio oder Klimaanlage. Die Fahraufgabe wird gemäß Schneider (2009) vom Fahrer „mit Hilfe geeigneter Handlungen bzw. Aktionen oder Tätigkeiten umgesetzt“.

Gemäß Leplat (1989) kann eine Tätigkeit auch als **Aktivität** bezeichnet werden und beschreibt „was der Arbeiter einsetzt, um die Anforderungen der Aufgabe zu erfüllen“. Achtziger und Gollwitzer (2010) definieren, dass „alle Aktivitäten, denen eine Zielvorstellung zugrunde liegt“ als Handlung gelten. Angelehnt an OECD (1981) ist es die Rolle des Fahrers auf Reize der Straße, des Verkehrs und bzgl. der Reaktion des eigenen Fahrzeug zu achten, Entscheidungen über adäquate Aktivitäten zur Kontrolle zu treffen, diese Aktivitäten auszuführen und auf die daraus neu entstandenen Situationen zu reagieren. Nach Schreiner-Hecheltjen (2015) beschreibt eine Aktivität „die kleinste Ausführungseinheit in einem Prozess oder Arbeitsablauf“ und ist definiert durch „die ausführende Personen, die eingesetzten Ressourcen und ihre zeitliche Abhängigkeit bezogen auf ihren Reihenfolgestandort und ihre Ausführungsdauer im gesamten Prozess- und Arbeitsablauf“. Gemäß Duden (2016) besitzt der Begriff Aktivität u.a. die Bedeutung eines „aktiven Verhaltens“ und kann

auch als Handlung, Tätigkeit bzw. Maßnahme bezeichnet werden. Luczak (1975) nennt das Objekt einer Aktivitätsanalyse „das spezifisch menschliche Verhalten mit all seinen Variabilitäten“ und grenzt Aktivitäten dabei im Anwendungsfall einer Belastungsaussage von Tätigkeiten, Anforderungen und Aufgaben ab, welche als eher objektbezogen angesehen werden. Luczak (1975) ergänzt, dass der Begriff der Aktivität eine hohe Allgemeingültigkeit besitzt und u.a. für Bewegungs- und Haltefunktionen, aber auch für die Informationsaufnahme gilt, sofern „es sich um einen beobachtbaren Vorgang im menschlichen Verhalten handelt“. Dambier (2010) nennt eine Pedalbetätigung oder die Aktivierung des Fahrtrichtungsanzeigers als Beispiel einer Aktivität des Fahrers.

Angelehnt an DIN EN ISO 9241-5 definieren Schmidtke und Jastrzebska-Fraczek (2013) eine Aufgabenanalyse als ein „Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Verhaltensweisen, die von einem Menschen bei der Benutzung von Geräten oder bei der Ausführung ihrer Arbeit gefordert werden“. Demnach kann der Unterschied zwischen einer Aufgabe und Aktivität folgendermaßen zusammengefasst werden: Eine Aufgabe beschreibt *was getan werden sollte*, während eine Aktivität Auskunft darüber gibt *was tatsächlich getan wird* bzw. *getan wurde*.

Die Übersicht zu den einzelnen Begriffen zeigt die Vielfältigkeit, aber auch die unterschiedliche (und teilweise leicht widersprüchliche) Sichtweise. Für die vorliegende Arbeit ist es jedoch wichtig, dass eine klare Begrifflichkeit verwendet wird, weshalb das Folgende festgelegt wird:

Im Rahmen dieser Arbeit soll fortan der Begriff des **Verhaltens** bzw. Fahrerverhaltens verwendet werden, wenn es um eine eher grundlegende *makroskopische* Betrachtung geht. Sobald jedoch eine detailliertere *mikroskopische* Betrachtungsweise gemeint ist und der Fokus auf „spezifischem menschlichen Verhalten“ (siehe Luczak (1975)) bzw. auf einzelnen messbaren „elementaren Teilschritten“ im Verhalten gelegt wird, soll der Begriff der **Aktivität** Verwendung finden.

Dabei wird bewusst der Begriff des Verhaltens dem Begriff der Handlung vorgezogen, auch wenn zuvor gezeigt wurde, dass streng genommen nur eine Handlung mit einem Sinn verbunden werden darf (vgl. Achtziger und Gollwitzer (2010), Hommel (2002) und Funke (2003)). Dies wird getan, da eine Handlung im Sinne verschiedener Modelle zum Fahrerverhalten (siehe dazu Kapitel 2.2.2) nur für die letztliche (meist motorische) Ausführung verwendet wird, aber keine Wahrnehmungs- oder Entscheidungsprozesse damit in den Modellen beschrieben werden. Die zu betrachtenden Aktivitäten der obigen Festlegung werden primär in der Stabilisierungsaufgabe der Modellbetrachtung nach Donges (1982) gesehen. Gemäß Gründl (2005) werden der Stabilisierungsaufgabe u.a. Aktivitäten der Längsführung (bspw. Gas geben oder Bremsen) und der Querführung (bspw. Lenken) zugerechnet. Fastenmeier und Gstalter (2003) ziehen einen sehr ähnlichen Schluss, auch wenn ein Lenken und eine Pedalbedienung als fertigkeitsbasierte Operationen, die auf der Stabilisierungsebene „als Stellgröße an das Fahrzeug zu übermitteln“ sind, bezeichnet werden. Zusätzliche Details zur Verwendung des Begriffs und entsprechende Beispiele können im weiteren Verlauf dieser Arbeit (Kapitel 3 und Kapitel 4) gefunden werden.

Gemäß Hommel (2002) beschreibt eine Handlungssequenz eine Handlung, die aus mehreren wie auch immer definierten Teilschritten besteht. Doshi und Trivedi (2011) sprechen davon, dass Fahrmanöver bspw. durch Serien (oder auch Sequenzen) von Pedalbetätigungen oder Ausgleichsbewegungen am Lenkrad repräsentiert werden. Daran angepasst, kann folgende Definition getätigt werden:

Eine **Aktivitätssequenz** wird als Sammlung einzelner Aktivitäten definiert. Im Rahmen dieser Arbeit können Aktivitätssequenzen neben dem reinen Vorhandensein unterschiedlicher Aktivitäten auch zusätzlich zeitliche Informationen der Aktivitäten, also einen „Zeitstempel“ besitzen. Der Zeitstempel kann bspw. die Dauer oder den Beginn der Aktivität und damit auch den zeitlichen Bezug verschiedener Aktivitäten untereinander beinhalten.

Ehlich und Rehbein (1979) definieren **Muster** als „Formen von standardisierten Handlungsmöglichkeiten, die im konkreten Handeln aktualisiert und realisiert werden“. Zudem hat ein Muster einen Zweck, auf welches es funktional bezogen ist. Gemäß Grießhaber (2006) bezeichnet ein Handlungsmuster ein spezifisches Ensemble bzw. eine definierte Abfolge von Tätigkeiten. Daraus abgeleitet wird folgendes festgelegt:

Ein **Aktivitätsmuster** ist die definierte Abfolge einzelner Aktivitäten. Diese Abfolge kann zudem auch zeitliche Details bzgl. der Aktivitäten („Zeitstempel“) umfassen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Begriffe bei der Betrachtung des Fahrers und seines Verhaltens gibt. In diesem Kapitel wurden die relevanten Begriffe erläutert und es wurden die vier wichtigsten Begriffe - Verhalten, Aktivität, Aktivitätssequenz und Aktivitätsmuster - für eine weitere Verwendung in dieser Arbeit definiert.

2.2. Fahrerverhalten

Im Folgenden sollen weitere Details zum Verhalten eines Fahrers auf Grundlage der Festlegungen der Begrifflichkeit aus Kapitel 2.1 dargestellt werden. Gemäß Irmischer (2001) kann Fahrerverhalten als konkret zielgerichtetes Handeln im Verkehr bezeichnet werden. Huguenin (1988) beschreibt insgesamt sechs „hierarchische Ebenen des Fahrerverhaltens“:

- Fein-Motorik (z.B. Feinbewegungen beim Kuppeln)
- Motorik (z.B. Bewegungsabläufe beim Schalten)
- Handlungsschritt (z.B. Richtungsanzeiger einschalten)
- Handlung (z.B. Überholvorgang)
- Gesamt-Handlung (z.B. Überholmanöver)
- Verhalten (Fahren)

Es ist wichtig zu betonen, dass Elemente der dritten Ebene, die von Huguenin (1988) als Handlungsschritte betrachtet werden, aufgrund der Festlegungen in Kapitel 2.1 als Aktivitäten bezeichnet werden. Die Begrifflichkeit zu den Elementen der obersten Ebene kann hingegen beibehalten werden - diese werden gemäß der Definition aus Kapitel 2.1 als Verhalten bezeichnet.

Die folgenden Unterkapitel handeln von Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten (Kapitel 2.2.1), relevanten Modellen des Fahrerverhaltens (Kapitel 2.2.2), Messgrößen, mit denen ein Fahrerverhalten beschrieben und analysiert werden kann (Kapitel 2.2.3) und Aspekten bzw. Möglichkeiten der Prädiktion des Verhaltens (bzw. der Absichts- oder Intentionserkennung, Kapitel 2.2.4).

2.2.1. Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten

Nachfolgend sollen wichtige Einflussfaktoren auf den Fahrer und sein Verhalten erläutert werden. Die Faktoren können das Verhalten des Fahrers bedingen, spielen bei vielen Modellen zum Fahrerverhalten eine Rolle, können bei der Herleitung von Hypothesen zum Fahrerverhalten oder zur Interpretation des Verhaltens herangezogen werden und sind daher für den weiteren Verlauf der Arbeit relevant. Nach Schneider (2009) befindet sich der Fahrer im Zusammenspiel mit der Umwelt und dem Fahrzeug (vgl. auch Donges (1982) und König (2015)), weshalb alle drei Faktoren grundsätzlich betrachtet werden sollen.

Gemäß Schlick et al. (2010) unterliegt die Leistung, die eine Arbeitsperson - im Rahmen dieser Arbeit also der **Fahrer** - erbringen kann, Schwankungen. Diese beruhen einerseits auf interindividuellen Gründen, d.h., dass unterschiedliche Fahrer eine unterschiedliche Leistung bei der Fahrzeugführung

erbringen können, als auch auf intraindividuellen Gründen. Bei der Intraindividualität geht es um den Unterschied innerhalb eines Fahrers, welcher beispielsweise durch einen veränderten Ermüdungsgrad oder mit einer wechselnden Motivation zusammenhängen kann. Als menschliche Leistungsvoraussetzungen nennt Schmidtke (1993) die Leistungsfähigkeit und die Leistungsbereitschaft. Die Bestimmungsgrößen menschlicher Leistung, die von Schlick et al. (2010) angelehnt an Luczak (1989) aufgestellt werden, sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Individuelle Bestimmungsgrößen menschlicher Leistung aus Schlick et al. (2010) angelehnt an Luczak (1989)

Konstitutionsmerkmale	Dispositionsmerkmale	Qualifikations- und Kompetenzmerkmale	Anpassungsmerkmale
<ul style="list-style-type: none"> • Geschlecht • Körperbau • Kulturkreis • Erbanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Persönlichkeit • Alter • Intelligenz • Körpergewicht • Gesundheitszustand • Rhythmologische Einflüsse 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrung • Wissen • Fähigkeiten • Fertigkeiten • Bildung • Kompetenz 	<ul style="list-style-type: none"> • Beanspruchung • Ermüdung • Motivation • Zufriedenheit • Stimmung

Schlick et al. (2010) geben zu den vier Gruppen der Bestimmungsgrößen noch an, ob bzw. wie schnell die Größen verändert werden können (vgl. Luczak (1989)). Die Konstitutionsmerkmale sind demnach im Lebenszyklus quasi unveränderbar, während Dispositionsmerkmale grundsätzlich veränderlich sind, wobei sie für eine direkte Einflussnahme nur schwer zugänglich sind. Die Qualifikation- und Kompetenzmerkmale sind demgegenüber durch lang-, mittel- und kurzfristige Prozesse veränderlich und die genannten Anpassungsmerkmale sind per Intervention sogar kurzfristig veränderbar. Rohmert (1984) verwendet einen leicht abweichenden Ansatz bei der Betrachtung der Arbeitsperson. Er nennt Eigenschaften, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Bedürfnisse als relevante Bestimmungsgrößen. Es sei an dieser Stelle noch auf Quellen bzgl. weiterer Details der Bestimmungsgrößen im Zusammenhang mit der Fahrzeugführung verwiesen. So nennen König (2015), Raithel und Widmer (2012) und Abendroth und Bruder (2015) Besonderheiten bzgl. der Persönlichkeit eines Fahrers. Ergänzende Angaben zum Einfluss von Fähigkeiten und Fertigkeiten können Abendroth und Bruder (2015) entnommen werden, während in OECD (1981) oder auch König (2015) Details zum Faktor Motivation enthalten sind. Als weiterer ergänzender Einflussfaktor wird von Kopf (2005), Blaschke et al. (2007), König (2015) und Langer et al. (2015a) der Fahrerzustand aufgeführt. Details zum Einflussfaktor Fahrerzustand inklusive Hinweisen zur Messung einiger Unterfaktoren können Langer et al. (2015a) entnommen werden. Auch die *Fahrerabsicht* hat einen Einfluss auf das Verhalten des Fahrers und steht gemäß Kopf (2005) „hauptsächlich im Zusammenhang mit dem nächsten geplanten Manöver“. Zudem wird sie primär von der beabsichtigten Route, aber auch der Frage, in welcher Zeit der Fahrer am Ziel ankommen möchte, beeinflusst. Bukasa und Wenninger (1985) teilen den Fahrer bezüglich des Einflussfaktors *Fahrertyp* in insgesamt vier Fahrertypen ein: der unauffällige Durchschnittsfahrer, der wenig routinierte-unentschlossene Fahrer, der sportlich-ambitionierte und der risikofreudig-aggressive Fahrer. Für weitere Informationen zum Einfluss des Fahrertyps auf das Fahrerverhalten sei auf Abendroth (2001) verwiesen. Gemäß Abendroth et al. (2009) sind die Eingaben, die der Fahrer über Steuer- oder Bedienelementen tätigt letztlich abhängig von der Fahraufgabe, seiner Fahrleistung sowie dem aktuellen Zustand des Fahrers.

Bei der Betrachtung des grundlegenden Faktors **Fahrzeug**, sollten gemäß Raithel und Widmer (2012) technische Komponenten mit einbezogen werden. König (2015) nennt den Fahrzeugtyp, den Fahrzeugzustand, die Ausstattung, die Ein- und Ausgaben sowie den Geräuschpegel als wichtige

Faktoren. Gemäß Schneider (2009) reagiert das Fahrzeug je nach Bauweise und Fahrzeugauslegung durch Bewegungen auf die Eingaben des Fahrers. Der Fahrer erhält dabei Rückmeldungen „in Form von Trägheitskräften, Bedienungskräften bzw. über den visuellen oder haptischen Sinneskanal“ (Schneider (2009)) - somit sollten die Fahrzeugbauweise und die Fahrzeugauslegung als möglicher Einflussfaktor betrachtet werden. Bezogen auf die Ausstattung des Fahrzeugs, kann es beispielsweise vorkommen, dass sich der Fahrer durch das Bewusstsein, dass Assistenzsysteme im Fahrzeug verbaut sind, anders verhält - u.U. kann er dazu neigen, die Grenzbereiche seines Fahrkönnens eher auszureizen, da er sich dem Ausgleich der möglicherweise vorhandenen Defizite durch die technische Unterstützung des FAS bewusst ist (vgl. Schneider (2009)).

Gemäß Raithel und Widmer (2012) spielen bei der **Umwelt** (teilweise auch als Umfeld bezeichnet) die Verkehrs- bzw. Straßenbedingungen und die Umwelt- bzw. Witterungseinflüsse eine Rolle. Es ist recht einfach nachvollziehbar, dass die meisten Fahrer bspw. bei schlechter Witterung ein tendenziell vorsichtigeres Verhalten zeigen. Abendroth (2001) ergänzt die Fahrsituation, die auch andere Verkehrsteilnehmer umfasst. König (2015) nennt zudem die Fahraufgabe, den Straßentyp und den Verkehrsfluss als Einflussgrößen. Als Beispiel kann im Vergleich zur freien Fahrt bei dichtem Verkehr ein abweichendes Fahrerverhalten erwartet werden.

Wichtig ist zudem festzuhalten, dass sich die einzelnen Einflussfaktoren teilweise gegenseitig beeinflussen. Als Beispiel kann genannt werden, dass sich normalerweise mit steigendem Alter auch die Fahrerfahrung erhöht oder dass die sensorischen bzw. motorischen Fähigkeiten im Alter nachlassen (vgl. Abendroth und Bruder (2015)).

Auf weitere Querbeziehungen zwischen den Einflussfaktoren, aber auch auf Auswirkungen bzw. Folgen der Faktoren auf das Fahrerverhalten soll im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden. Es sei für weitere Informationen auf Schlick et al. (2010), Abendroth und Bruder (2015) und Abendroth (2001) verwiesen. Eine Übersicht zu weiteren Gliederungsmöglichkeiten der Einflussfaktoren kann in Breuer (1996) gefunden werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Betrachtung des Fahrerverhaltens nicht ohne die Beachtung von diversen Einflussfaktoren stattfinden sollte. Neben den Einflussfaktoren des Fahrers, die gemäß Schlick et al. (2010) in Anlehnung an Luczak (1989) durch die Faktoren Konstitution, Disposition, Qualifikation bzw. Kompetenz und Anpassung repräsentiert werden, sollten angelehnt an Schneider (2009) und Donges (1982) auch Umwelt- und Fahrzeugfaktoren berücksichtigt werden.

2.2.2. Relevante Modelle zum Fahrerverhalten

Gemäß Kapitel 1.2 bedarf es weiteren Bestrebungen hinsichtlich einer Fahrermodellierung, auch wenn es eine Vielzahl von Ansätzen aus unterschiedlichen Disziplinen gibt (vgl. Levesque und Johrendt (2011)). Diese stammen primär aus der Psychologie und den Ingenieurwissenschaften. Zudem resümieren Levesque und Johrendt (2011), dass es kein einzelnes universelles Fahrermodell gibt, welches auf breite Akzeptanz stößt. Gründe dafür können gemäß den Autoren in der hohen Anzahl der Modelle, der unterschiedlichen Verwendung, aber auch unterschiedlichen Methoden zur Bewertung der Modelle gefunden werden. Die Autoren gehen soweit, dass es aus ihrer Sicht sehr wahrscheinlich ist, dass ein universelles Fahrermodell nie entwickelt wird. Während in Kapitel 2.1 bereits die Modelle nach Rasmussen (1983) und Donges (1982) erwähnt wurden, soll im Folgenden auf weitere relevante Fahrerverhaltensmodelle eingegangen werden, um eine ausreichend große Basis für die Methodik bzw. theoretische Modellierung (Kapitel 3) zu schaffen.

Eine wichtige Gruppe bei der Fahrermodellierung stellen Modelle dar, die dem folgenden klassisch psychophysiologischen Ansatz der Gliederung nicht-körperlicher Arbeit folgen (siehe dazu Schlick et al. (2010)):

- Informationsaufnahme - das Entdecken und Wahrnehmen eines Reizes mittels der Rezeptoren (Sinnesorgane) einschließlich der Vorverarbeitung
- Informationsverarbeitung - das Erkennen der Signalbedeutung, Identifizieren der wesentlichen Merkmale und Entscheiden zwischen Handlungsalternativen
- Prozesse der Reaktion - durch motorische Regulation und Informationsabgabe

Die zugehörigen Modelle beschreiben die **menschliche Informationsverarbeitung** zwischen der Aufnahme eines Reizes und der Reaktion auf den Reiz. In der Literatur können verschiedene Ansätze zur entsprechenden Modellierung gefunden werden. Ein erster und recht einfacher Ansatz der **sequentiellen Modelle** ist es, von einem sequentiellen Durchlauf verschiedener Schritte auszugehen. Welford (1960) nennt hierzu eine Kette von insgesamt drei Phasen der zentralen Prozesse hinsichtlich der sensumotorischen Leistungsfähigkeit - diese betreffen die Wahrnehmung über den sog. „Perceptual Mechanism“, die Verarbeitung über den sog. „Translation Mechanism“ und die Ausführung über den sog. „Central Effector Mechanism“. Der Ansatz von Luczak (1975) sieht dazu eine Erweiterung vor: die vier Phasen sind dort mit Entdecken, Erkennen, Entscheiden und Handeln bezeichnet (siehe Abbildung 2; vgl. Schlick et al. (2010), vgl. Fell (1976)). Bei der Phase des Entdeckens spielt gemäß Luczak (1975) sensorische Arbeit die entscheidende Rolle, während bei der Erkennung diskriminatorische und beim Entscheiden kombinatorische Arbeit nötig wird. Das Handeln zeichnet sich zu guter Letzt durch signalisatorisch-motorische Arbeit aus. Gemäß Abendroth und Bruder (2015) umfassen die Handlungen beim Fahrzeugführen motorische Bewegungen des Hand-Arm- sowie des Fuß-Bein-Systems. Im Zuge der Phasen des Erkennens, Entscheidens und Handelns greift der Mensch auf sein Gedächtnis zurück, in dem ein Repertoire aus früheren Erfahrungen abgespeichert ist. Weitere Details zu den beschriebenen Phasen können bspw. Schlick et al. (2010) und Abendroth und Bruder (2015) entnommen werden.

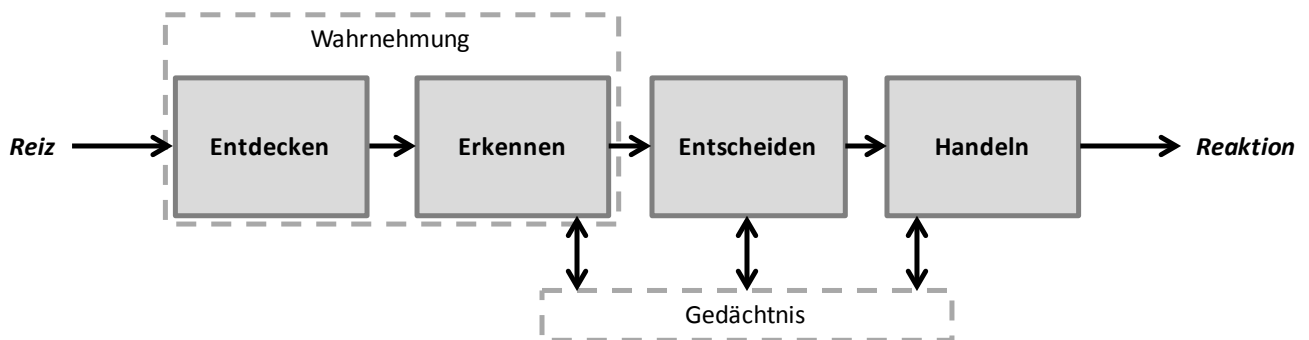


Abbildung 2: Sequentielles Modell der Informationsverarbeitung angelehnt an Luczak (1975) und Schlick et al. (2010)

Neben den genannten sequentiellen Modellen gibt es den Ansatz sogenannter **Kapazitätsmodelle**, die anstelle der Betrachtung des Zeitverbrauchs bei der Informationsverarbeitung gemäß Schlick et al. (2010) „die Zuweisung kognitiver Kapazität bzw. die Regulation des damit verbundenen Energieeinsatz in den Mittelpunkt stellen“. Dabei wird davon ausgegangen, dass die zur Informationsverarbeitung verfügbare Kapazität begrenzt ist. Wichtigste Vertreter der Modelle, die auf die Betrachtung der Kapazität beruhen sind angelehnt an Schlick et al. (2010) die Anstrengungsregulation bei der Informationsverarbeitung nach Sanders (1983), die Relation zwischen Kapazität und Aufgabenschwierigkeit nach Kahnemann (1973), das Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Hollands (1999) und die Theorie der multiplen Ressourcen nach Wickens (1992), bei der davon ausgegangen wird, dass die gesamte Ressource des Menschen auf unterschiedliche Aufgaben aufgeteilt werden kann.

Für diese Arbeit besonders relevant ist die Gruppe der **Handlungsmodelle**, da diese meist auch Elemente wie Ziele oder Motive vorsehen und damit bzgl. Erklärungen für die Auswahl einer bzw. Intentionen zu einer Handlung hilfreich sein können. Aus der Vielzahl der dazu vorhandenen Modelle soll im Folgenden eine Auswahl dargestellt werden.

Das sog. Rubikon-Modell der Handlungsphasen beschreibt gemäß Heckhausen und Gollwitzer (1987) die Abgrenzung zwischen einer *motivationalen* und *volitionalen* Denkweise bei der Entscheidungsfindung. Während eine Motivation nach Achtziger und Gollwitzer (2010) das Setzen von Zielen betrifft, beschreibt eine *Volition* eine Form der Motivation, „die sich auf das Streben nach Zielen bezieht“ - also auf die Erreichung einer bereits gesetzten Zielintention. Nach Achtziger und Gollwitzer (2009) ist die Integration der beiden Aspekte eine Neuerung im Vergleich zu traditionellen Motivationstheorien. Abbildung 3 zeigt das Rubikon-Modell und verdeutlicht die enthaltenen Übergänge zwischen Motivation und Volition.

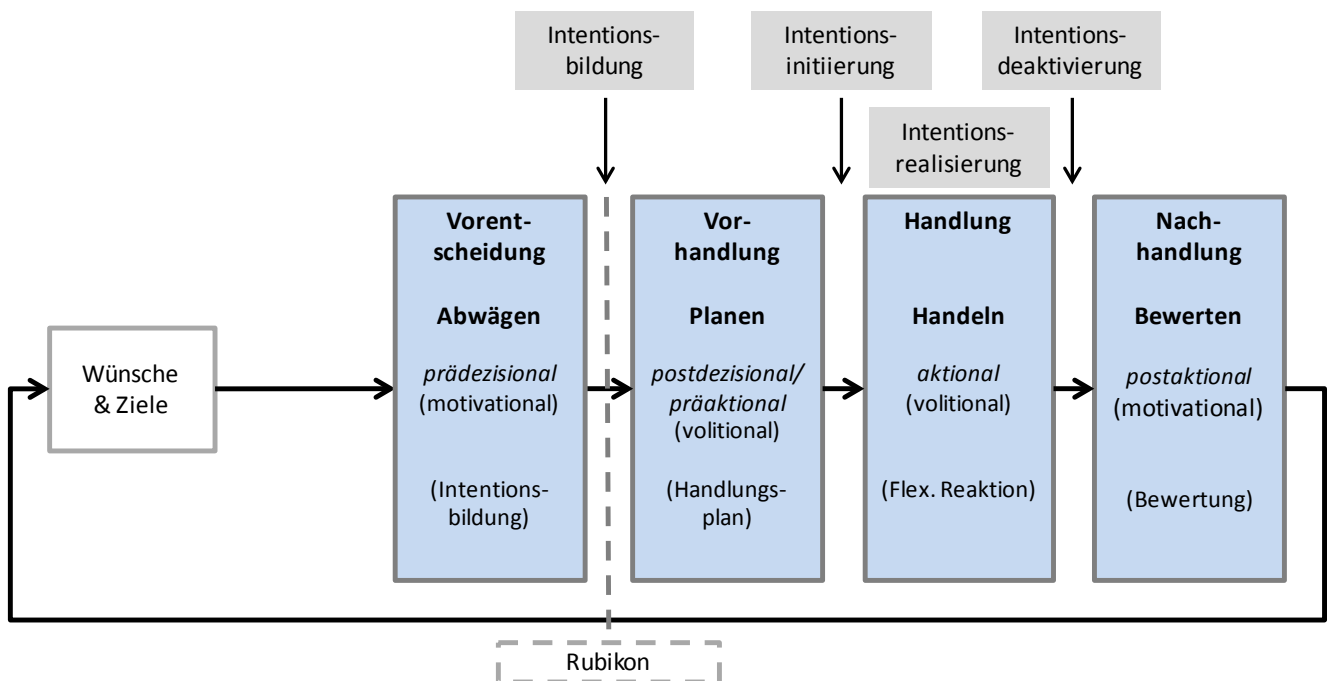


Abbildung 3: Darstellung des Rubikon-Modells in Anlehnung an Achtziger und Gollwitzer (2009), Achtziger und Gollwitzer (2010) und Rudolph (2003), auf Basis von Heckhausen und Gollwitzer (1987)

Ausgehend von Wünschen einer Person werden demnach gemäß Achtziger und Gollwitzer (2010) die vier Phasen Abwägen, Planen, Handeln und Bewerten durchlaufen. Nach Achtziger und Gollwitzer (2009) beschreibt das Modell „das Verfolgen eines Ziels und somit den Handlungsverlauf als die Lösung von vier zeitlich aufeinander folgenden Aufgaben“. Der Übergang zwischen der sog. *prädeziSIONalen* Phase des Abwägens und der *präaktionalen* Phase des Planens (die gemäß Achtziger und Gollwitzer (2009) auch *postdeziSIONale* Phase genannt werden kann) wird mit dem Überschreiten des Rubikons - also der Entscheidung und der Intentionsbildung gleichgesetzt. Achtziger und Gollwitzer (2009) geben an, dass durch die Entscheidung aus einem „ehemals eher unverbindlichen Wunsch ein verbindliches Ziel“ wird - die handelnde Person verpflichtet sich, diesen Wunsch in die Tat umzusetzen und beginnt mit der konkreten Planung und Umsetzung des Ziels. Die Intentionsinitiiierung wandelt ein Planen in ein Handeln (*aktionale* Phase) um, während dem die Intention gemäß Achtziger und Gollwitzer (2010) realisiert wird. Die Intention wird hingegen deaktiviert, sobald das Handeln abgeschlossen ist und die Phase des Bewertens (*postaktionale* Phase) stattfindet. Die Bewertungen fließen wiederum in die Wünsche am Beginn des Modells ein.

Das Rubikon-Modell versucht nach Achtziger und Gollwitzer (2010) folgende Fragen zu beantworten:

- Wie wählt ein Handelnder seine Ziele aus?
- Wie plant er deren Realisierung?
- Wie führt er diese Pläne durch?
- Wie bewertet er seine Bemühungen um die Erreichung seines Handlungsziels?

Blaschke et al. (2007) geben an, dass das Rubikon-Modell es erlaubt, „Fahrmanöver aus menschlicher Perspektive zu beschreiben“ und dass in jeder Modellphase Verhaltensweise oder Faktoren gefunden werden können, die eine Aussage zu Motivation, Absicht oder konkreten Handlungen des Fahrers ermöglichen. Gerade die frühen Phasen des Modells, in denen unterschiedliche Handlungsalternativen vorliegen, seien besonders relevant. Gemäß Blaschke et al. (2007) können relevante, im Fahrzeug erfassbare Indikatoren zu den Phasen zusammengestellt werden.

Hommel und Nattkemper (2011) schlagen ein strukturierendes Arbeitsmodell der psychologischen Handlungsforschung vor. Das Modell (siehe dazu Abbildung 4) unterscheidet gemäß Hommel und Nattkemper (2011) „verschiedene Ebenen, die die Prozesse der Handlungssteuerung hinsichtlich ihrer Dauer und Reichweite ordnen“.

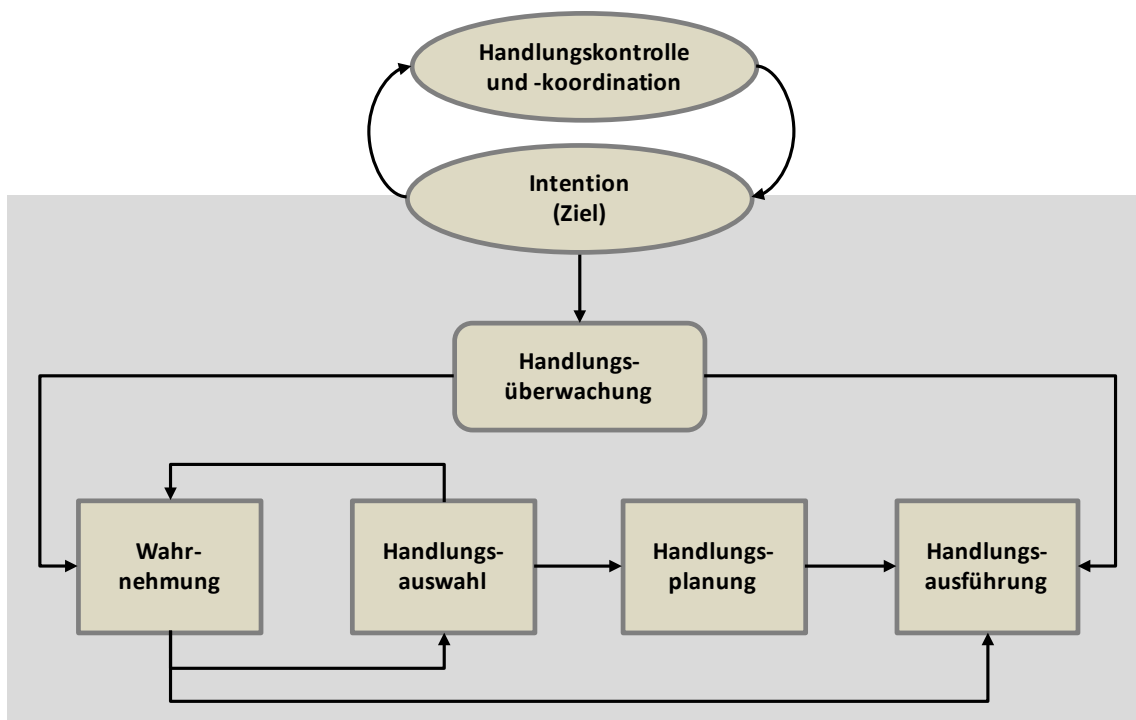


Abbildung 4: Strukturierendes Arbeitsmodell zur psychologischen Handlungsforschung von Hommel und Nattkemper (2011)

Die Prozesse der Reizverarbeitung werden von Hommel und Nattkemper (2011) zusammengefasst unter dem Begriff Wahrnehmung dargestellt. Mit dieser Phase, in der Prozesse von relativ kurzer Dauer eine Rolle spielen, startet die unterste Betrachtungsebene des Modells. Die Ergebnisse des Reizverarbeitungsprozesses werden zur Auswahl neuer Handlungen aber auch zur Anpassung bereits aktiver Handlungen genutzt. Mit der nachfolgenden Auswahl verbinden Hommel und Nattkemper (2011) die Festlegung der Eigenschaften der intendierten Handlung, während bei der Handlungsplanung Handlungsmerkmale integriert werden. Des Weiteren erfordert die Ausführung eine Übersetzung in Muskelaktivitäten. Der Prozess der Handlungsüberwachung ist gemäß Hommel und Nattkemper (2011) auf der mittleren Ebene verortet - auf dieser Ebene wird „registriert, ob die ablaufenden Handlungen tatsächlich der aktuellen Intention, d.h. dem Handlungsziel entsprechen“. Die übergeordneten Prozesse lassen sich mit den Begriffen Intentionen und der Kontrolle bzw. der Koordination von Handlungen zusammenfassen.

Ausgehend von der Kritik, dass menschliches Handeln nicht durch eine eindimensionale und eindirektionale Beziehung zwischen einer Ursache und einer Wirkung beschrieben werden sollte, wurde die sog. Handlungsregulationstheorie (HRT) entwickelt (Miller et al. (1973), zitiert nach Schlick et al. (2010)). Die HRT beschreibt gemäß Greif et al. (1989) idealtypisch wie Arbeitshandlungen und hierarchisch organisierte innere Regulationsprozesse wechselwirken. Von Oesterreich und Leitner (1989) werden im Zuge der HRT zwei handlungspsychologische Arbeitsanalyseverfahren genannt: Das Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen in der Arbeitstätigkeit (VERA, von Volpert et al. (1983)) und zu Regulationshindernissen in der Arbeitstätigkeit (RHIA, von Leitner et al. (1987)).

Die nachfolgenden Angaben beziehen sich, sofern nicht anders angegeben, auf die Ausführungen zur HRT aus Schlick et al. (2010). Das Arbeitsverhalten bzw. -handeln wird durch Ziele, die Ausgangspunkte, aber auch Regulationskomponenten des Handelns darstellen, geleitet und gesteuert. Das dabei gezeigte Verhalten ist somit zweckhaft und bewusst. Während die prozessorientierte Sicht der HRT eine Handlung „von einem Ziel zu einem Plan, dann zur Plan-Ausführung und schließlich zum Handlungsergebnis bzw. dessen Rückmeldung“ beschreibt, betrachtet die strukturelle Perspektive die Regelung des Handlungsverlaufs über hierarchisch gegliederte Funktionseinheiten. Gemäß Mühlfelder (2003) ist das Handlungsziel der Fixpunkt der Handlungsausführung, die ansonsten jedoch recht variabel ablaufen kann. Letztlich können unterschiedliche Regulationsebenen aufgestellt werden, die die hierarchische Struktur der ausführungsregulatorischen Vorgänge unterstreichen. So können die Vorgänge bspw. kontrolliert oder automatisiert ablaufen bzw. bewusstseinspflichtig oder bewusstseinsfähig sein. Eine weitere Einteilung in Regulationsebenen sieht die Ebenen Erschließungsplanung, Bereichsplanung, Teilzeitplanung, Handlungsplanung und Handlungsausführung vor. In der HRT werden emotionale, motivationale und soziale Aspekte der Arbeit vernachlässigt, was als zentraler Kritikpunkt angebracht werden kann. Für weitere interessante, bezogen auf diese Arbeit aber nicht weiter relevante Modelle sei im Rahmen der sog. „Theorie des überlegten Handelns“ auf das Modell von Fishbein und Ajzen (1975) und bezogen auf die „Theorie des geplanten Verhaltens“ auf die Ergänzungen von Ajzen und Madden (1986) verwiesen.

Zusammenfassend kann genannt werden, dass bei der modellhaften Betrachtung des Fahrerverhaltens Modelle der Informationsverarbeitung (z.B. nach Luczak (1975)) und Handlungsmodelle, wie das Rubikon-Modell von Heckhausen und Gollwitzer (1987), eine entscheidende Rolle spielen. Mit Hilfe der Modelle kann es möglich sein, Verhalten zu beschreiben bzw. Gründe für das gezeigte Verhalten zu identifizieren. Bengler et al. (2014) resümieren, dass Verhaltensmodelle wichtig sind, damit das Verhalten des Fahrers vorhergesagt werden kann (vgl. Kapitel 1.1).

2.2.3. Messgrößen des Fahrerverhaltens

Das Verhalten des Fahrers ist über unterschiedliche Messgrößen beobachtbar bzw. messbar. Im Folgenden werden die für diese Arbeit wichtigsten Messgrößen erläutert, die eine Aussage zum Fahrerverhalten ermöglichen. Dabei werden zwei unterschiedliche Gruppen von Messgrößen betrachtet. Gemäß Abendroth et al. (2009) spiegeln sich Fahrzeugreaktionen, die sich auf Grund von Eingaben des Fahrers ergeben, in fahrdynamischen Größen wider. Unter Berücksichtigung der Definition aus Kapitel 2.1, dass Verhalten auf der mikroskopischen Ebene durch Aktivitäten repräsentiert werden kann, sollen demnach auf der einen Seite Reaktionen des Fahrzeugs auf Eingaben und damit Aktivitäten des Fahrers betrachtet werden. Neben diesen „über das Fahrzeug messbaren“ Größen, können auch direkt am Fahrer Aspekte des Verhaltens, wie bspw. das Blickverhalten über das Informations aufgenommen werden, beobachtet und gemessen werden. Nachfolgend werden demnach Messgrößen der Fahrdynamik, die aus dem Verhalten der Fahrer rühren und direkt fahrerbezogene Messgrößen erläutert.

Die Messgrößen, die die Fahrdynamik betreffen und aus dem Verhalten der Fahrer stammen, können über den Fahrzeug-Controller-Area-Network(CAN)-Bus ermittelt werden, auf dem Informationen über diverse Messgrößen im Fahrzeug enthalten sind. Beispiele sind gemäß Berndt et al. (2008), Breuer

(1996) und Abendroth et al. (2009) die Fahrzeuggeschwindigkeit, der Lenk(rad)winkel, die Fahrpedalstellung, die Motordrehzahl oder Informationen über die Bedientätigkeiten des Fahrers. Betrachtet man die Eingaben des Fahrers, die sich auf die Fahrdynamik auswirken, kann eine grundlegende Einteilung in Längs- und Querführung getätigt werden (vgl. Gründl (2005) und Abendroth et al. (2009)). Bezogen auf die Längsführung nimmt der Fahrer durch Eingaben an der Pedalerie des Fahrzeugs Einfluss. Dazu passende Messgrößen sind die Pedalwege oder Pedalpositionen und die Betätigungsgeschwindigkeit des jeweiligen Pedals. Die Eingaben des Fahrers resultieren in der Fahrgeschwindigkeit oder auch in Beschleunigungswerten des Fahrzeugs. Ebenso nimmt der Fahrer über die Längsführung Einfluss auf den Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug, was direkt über den Abstand (in Metern ausgedrückt) oder über die Time-To-Collision (TTC, siehe dazu bspw. Färber (1986)) beobachtet werden kann. Ebenfalls zur Längsführung gezählt werden können Eingaben hinsichtlich des Fahrgangs, die über den Schaltknüppel getätigt werden. Eingaben vom Fahrer, die die Querführung beeinflussen, werden über das Lenkrad durchgeführt. Am Lenkrad können bzgl. der Fahrereingaben der aufgebrauchte Lenkradwinkel oder auch die Lenkradwinkelgeschwindigkeit gemessen werden. Über diese Eingaben nimmt der Fahrer Einfluss auf die Trajektorie des Fahrzeugs, was sich bspw. in der Position im Fahrstreifen bzw. in der Time-To-LineCrossing (TLC, siehe dazu bspw. Mammar et al. (2006)) niederschlägt. Tabelle 2 fasst die Fahrdynamikmessgrößen und Messgrößen zusammen, die dafür verantwortlich sind und vom Fahrer durchgeführt werden.

Tabelle 2: Übersicht von fahrzeugbezogenen Messgrößen und zugehörigen Einheiten

Kategorie	Messgröße	Einheit
Längsführung	Gas- bzw. Bremspedalstellung	% (oder mm)
	Gas- bzw. Bremspedalgeschwindigkeit	%/s (oder mm/s)
	Fahrzeuggeschwindigkeit	m/s
	Fahrzeugbeschleunigung	m/s ²
	Abstand zu Vorderfahrzeug/Hindernis	m
	TTC	s
	Gewählter Fahrgang	-
Querführung	Lenkwinkel bzw. Lenkradwinkel	°
	Lenkradwinkelgeschwindigkeit	°/s
	Position im Fahrstreifen (meist über den Abstand zur seitlichen Fahrstreifenmarkierung)	m
	TLC	s

Wie von Abendroth et al. (2009) angesprochen, können über den CAN-Bus ebenfalls weitere Bedientätigkeiten des Fahrers ermittelt werden. Dazu kann bspw. die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers oder das Einschalten des Fern- oder Abblendlichts gezählt werden.

Bzgl. der direkt fahrerbezogenen Messgrößen kann zu den oben genannten Aspekten der Längs- bzw. Querführung noch ergänzend genannt werden, dass auch vorbereitende Aktivitäten, wie das Greifen des Lenkrads oder das Umsetzen des Fußes interessant sein können. So kann die Bewegungsgeschwindigkeit der Füße oder Hände bspw. bei Notsituationen ein gutes Indiz für eine bevorstehende Reaktion des Fahrers sein. Die genannten Größen können bspw. über eine kamerabasierte Fahrerbeobachtung erhoben werden. Auch eine Aussage über die Kräftigkeit des Griffs, z.B. am Lenkrad, kann relevant sein. Sie kann mit Hilfe von Drucksensoren ermittelt werden. Breuer (1996) nennt zusätzlich noch die Körperhaltung, die Lenkradhaltung oder auch das Kommunikationsverhalten als möglicherweise relevante subjektive Kennwerte. Eine größere Kategorie der direkt fahrerbezogenen Messgrößen stellen Blickbewegungsparameter dar. Die Analyse von Blickdaten geschieht meist über sog. Areas of Interest (AOI). Zu den AOI können dann Häufigkeiten von Fixationen, Einzeldauern von Fixationen oder kumulierte Fixationsdauern berechnet und analysiert werden. Zudem ist es möglich Blickpfade bzgl. vorliegender Muster zu untersuchen. Über Eye-Tracking-Systeme können zudem Messgrößen wie der Augenöffnungsgrad oder die Häufigkeit des „Blinzeln“ gemessen werden - diese Größen machen gemäß Langer et al. (2015a) eine Aussage zur

Ermüdung eines Fahrers, welche auf das Verhalten Einfluss nehmen kann, möglich. Neben den eben genannten Messgrößen können mit Hilfe von Blickbewegungsanalysesystemen sehr häufig auch Kopffrotationen analysiert werden. Neben der vertikalen Kopfdrehung, mit der u.U. auf eine Blickabwendung zu Infotainmentsystemen geschlossen werden kann, sind v.a. horizontale Kopfdrehungen relevant. Über diese Messgrößen können Spiegel- oder Schulterblicke zur Orientierung bei Manövern der Querführung detektiert bzw. geschätzt werden. Aus Sicht der Messung kann festgehalten werden, dass Kopffrotationen im Allgemeinen robuster zu messen sind als Blickbewegungen. Diese Ansätze zur Messung direkt fahrerbezogener Messgrößen haben jedoch auch Nachteile - es muss zusätzliche Sensorik eingebaut werden bzw. die Messmethoden sind teilweise sogar intrusiv.

In Tabelle 3 können die relevanten direkt fahrerbezogenen Messgrößen und - sofern möglich - die jeweilige Einheit zusammengefasst gefunden werden.

Tabelle 3: Übersicht von direkt fahrerbezogenen Messgrößen und zugehörigen Einheiten

Kategorie	Messgröße	Einheit
Fuß- bzw. Handaktivitäten	Umsetzen eines Fußes	-
	Umgreifen einer Hand	-
	Fuß- bzw. Handbewegungsgeschwindigkeit	- (oder ggf. mm/s)
	Griffkräftigkeit der Hand	N
	Lenkradhaltung	-
	Körperhaltung	-
Blickbewegung	Fixationshäufigkeit	-
	Einzelfixationsdauer	s
	Kumulierte Fixationsdauer	s
	Blickpfade	-
Kopfbewegung	Horizontale Kopffrotation	°
	Vertikale Kopffrotation	°
	Horizontale Kopffrotationsgeschwindigkeit	°/s
	Vertikale Kopffrotationsgeschwindigkeit	°/s

Ergänzend soll hiermit noch kurz darauf verwiesen sein, dass auch Gehirnaktivitäten und die entsprechenden Messgrößen als Eingangsgröße einer Fahrerverhaltensanalyse möglich sind. Über die sog. alpha-Spindelrate aus einer Elektroenzephalogramm-Messung kann bspw. eine Abschätzung der Fahrerablenkung getätigt werden und dies kann dazu genutzt werden zwischen einem Fahren mit bzw. ohne Nebenaufgabe zu unterscheiden (siehe Sonnleitner et al. (2014)). Diese Messgrößen haben für die vorliegende Arbeit jedoch keine weitere Relevanz, weshalb sie nicht näher betrachtet werden. Weitere Informationen zu dieser Messgrößen-Kategorie können bspw. Langer et al. (2015a) entnommen werden. Auch über eine Spracheingabe, die direkte Interaktion mit Fahrzeugsystemen oder über Gesten kann ein Fahrer Einfluss auf das Fahrzeug nehmen. Diese Aspekte spielen aber genauso wie Emotionen im Rahmen dieser Arbeit keine Rolle.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl Eingaben des Fahrers, die sich in Fahrdynamikwerten widerspiegeln als auch direkt fahrerbezogene Messgrößen im Rahmen einer Fahrerverhaltensanalyse eine wichtige Rolle spielen. Bereits heute können beide Kategorien messtechnisch gut abgedeckt werden. Während im Fahrzeug direkt über den CAN-Bus die relevanten Fahrdynamikmessgrößen ausgelesen werden können, kann ein Blickbewegungssystem in Kombination mit einer Kopffrotationsanalyse zur Ermittlung der wichtigsten direkt fahrerbezogenen Messgrößen vorgesehen werden. Sofern nötig oder gewünscht, können zudem über bspw. eine Kamera im Fahrzeuginnenraum auch weitere Aktivitäten des Fahrers erhoben und später analysiert werden.

2.2.4. Prädiktion des Fahrerverhaltens

Diverse Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass es mit Hilfe von Algorithmen möglich ist, Fahrerverhalten zu prädictieren und damit eine Absichts- bzw. Intentionserkennung zu entwickeln. Wie bereits in Kapitel 1.1 angesprochen, werden dazu häufig Maschinenlernverfahren verwendet. Die bisherigen Arbeiten beruhen dabei meist auf dem „bottom up“-Prinzip (siehe Kapitel 1.2), d.h. dass häufig in der Vielzahl der analysierbaren Daten nach passenden Indikatoren für das Fahrerverhalten gesucht wird. Im Folgenden werden Beispiele der Forschungsarbeiten und deren Möglichkeiten, aber auch Grenzen der Prädiktion aufgezeigt.

Gemäß Liebner und Klanner (2015) können die Ansätze einer Fahrerabsichtserkennung grundsätzlich in diskriminative und generative Methoden eingeteilt werden. Während diskriminative Methoden beobachtete Merkmale verwenden, um eine Menge von Klassen unterscheiden zu können und dabei Trainingsdaten zum Anlernen vorgesehen werden, fokussieren generative Methoden eine vollständige Wahrscheinlichkeitsverteilung für alle Zufallsgrößen der Modellierung. Diskriminative Methoden ermöglichen gemäß Liebner und Klanner (2015) die frühzeitige Erkennung der Absicht zu einem Manöver, sofern die Modellkomplexität passend gewählt wurde und ausreichend Trainingsdaten vorhanden sind. Demgegenüber steht jedoch der Nachteil, dass die tatsächliche Eintrittswahrscheinlichkeit nur approximiert, aber nicht direkt ermittelt werden kann. Deshalb ist es auch nur bedingt möglich abweichende Fahrmanöver zu erkennen. Des Weiteren fehlt bei den Ansätzen eine Flexibilität bzgl. zeitweise nicht beobachtbarer Merkmale. Als Vorteil der generativen Methoden nennen Liebner und Klanner (2015) die Tatsache, dass auch nur zeitweise beobachtbare Merkmale in generative Methoden integriert werden können, da die Wahrscheinlichkeiten grundsätzlich berechnet werden können. Zudem kann die Eintrittswahrscheinlichkeit des wahrscheinlichsten Manövers bestimmt werden und es ist möglich zwischen mehr als zwei Manövern zu unterscheiden (siehe dazu auch Doshi und Trivedi (2011)). Nachteilig ist es jedoch, dass die generativen Modelle komplexer sind, wodurch ein Lernen über Trainingsdaten schwieriger ist. Zudem gibt es Varianten, in denen generative Ansätze als sog. „Black Box“ gestaltet sind (vgl. Liebner und Klanner (2015)). Dies hat zur Folge, dass ein Nachvollziehen, wie die Vorhersage vonstattengeht nicht oder nur sehr schwer möglich ist und somit das Verständnis über das Fahrerverhalten nicht direkt gesteigert wird. Die wichtigsten Vertreter der diskriminativen und generativen Methoden, die von Liebner und Klanner (2015) genannt werden, sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Für weitere Details der Methoden sei auf die genannte Quelle verwiesen.

Tabelle 4: Übersicht der diskriminativen und generativen Methoden bei der Fahrerabsichtserkennung nach Liebner und Klanner (2015)

Diskriminative Methoden	Generative Methoden
<ul style="list-style-type: none">• Artificial Neural Networks• Support Vector Machines• Relevance Vector Machines• Decision Trees/Random Forests• Conditional Random Fields• Prototypenbasierte Ansätze (Prototypen)• Kostenbasierte Ansätze (Utility)	<ul style="list-style-type: none">• Bayesian Networks• Parametrische Modelle (Fahrermodell)• Hidden Markov Models• Gaussian Processes• Layered Hidden Markov Models based on Gaussian Processes• Dynamic Bayesian Networks

In Doshi und Trivedi (2011) kann ebenfalls eine gute Übersicht zu Ansätzen der Absichtsdetektion gefunden werden. Die Autoren fassen zusammen, dass häufig beide Arten von Ansätzen (diskriminativ und generativ) verwendet werden, wenn der Algorithmus nur ein Manöver bzw. eine Absicht des Fahrers detektieren soll. Soll es hingegen möglich sein, zwischen mehrere Fahrerabsichten zu unterscheiden, so werden ausschließlich generative Ansätze gewählt. Liebner und Klanner (2015) fassen zusammen, dass „Steuergrößen des Fahrers“ wie bspw. der Lenkradwinkel und Pedalstellungen

für eine Fahrerabsichtserkennung verwendet werden können. Ergänzend haben in den letzten Jahren auch Daten aus einer direkten Beobachtung des Fahrers an Bedeutung gewonnen. Nachfolgend werden zwei Beispiele von Arbeiten zu Algorithmen zur Detektion einer Absicht zu einem Fahrstreifenwechsel bzw. einem Überholmanöver, welches typischerweise mit einem Wechsel vom rechten auf den linken Fahrstreifen startet, aufgeführt.

In den Untersuchungen zu Überholmanövern von Blaschke et al. (2007) bzw. Blaschke et al. (2008) wurde ein Algorithmus auf Basis einer Fuzzy-Logic verwendet. Bei diesem wurden die Indikatoren Abstand zwischen Ego- und Vorderfahrzeug, Differenzgeschwindigkeit zwischen Ego- und Vorderfahrzeug, Bremsdruck Egofahrzeug, Fahrpedalwert Egofahrzeug und Fahrpedalgeschwindigkeit Egofahrzeug verwendet, um das Manöver vorherzusagen. Auf die Integration von Lenkbewegungsdaten wurde bewusst verzichtet, um schon vor dem Beginn der spezifischen Querführung das Manöver präzisieren zu können. Die Autoren erreichten einen Anteil von 95% korrekter Prädiktionen. Nur in 7% der Fälle wurde eine Folgefahrt fälschlicherweise als Überholmanöver gewertet. Die Prädiktion begann dabei etwa 3s bevor das Fahrzeug auf die Gegenfahrbahn kommt. Als Vorteil erwähnen Blaschke et al. (2007), dass der Algorithmus keine Querführungsparameter benötigt und dennoch das Manöver schon früh erkannt werden kann. Nachteilig ist, dass der Algorithmus nur für eine sehr einfache und standardisierte Verkehrssituation entwickelt wurde.

Ein weiterer Fuzzy-Logic-Ansatz zur Vorhersage von Fahrstreifenwechselmanövern kann der Arbeit von Heine (i.V.) entnommen werden, welche parallel zu der vorliegenden Arbeit entstanden ist.

Von Berndt et al. (2008) wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher auf einem Hidden Markov Model beruht und mit dem die Vorhersage von Fahrstreifenwechselmanövern rein auf Basis von einfach zu ermittelnden Messgrößen möglich ist. Unter den möglichen Messgrößen zeichneten sich der Lenkwinkel und die Lenkwinkelgeschwindigkeit als am vielversprechendsten für die Manövervorhersage aus. Pedalstellungen oder der Bremsdruck waren hingegen für die Vorhersage nicht zuträglich. Der Algorithmus ermöglichte die Vorhersage von 71% der Fahrstreifenwechsel nach links bzw. 74% nach rechts. Dabei ist zu beachten, dass die zugrundeliegenden Daten nicht auf ausschließlich geraden Streckenabschnitten erhoben wurden. In diesem Fall wären die Erkennungsraten deutlich höher gewesen. Alle Manöver konnten vor dem Manöverbeginn (Überfahren der Fahrstreifenmarkierung) vorhergesagt werden. Die Autoren geben zudem an, dass neuartige Signale wie beispielsweise aus einer digitalen Karte, die Vorhersagemöglichkeiten verbessern können.

Neben den genannten Ansätzen gibt es eine Vielzahl weiterer, die das Manöver Fahrstreifenwechsel zum Thema haben. Da zu den weiteren Ansätzen jedoch nicht immer alle Details konkret beschrieben sind, bzw. der Mehrwert der detaillierten Angabe in dieser Arbeit begrenzt wäre, wird auf die Ansätze nicht genauer eingegangen. Es sei an dieser Stelle auf die Übersichtsquellen Liebner und Klanner (2015), Doshi und Trivedi (2011) und Dambier (2010) verwiesen, in denen zusätzliche Informationen zu Ansätzen bzw. zu den darin verwendeten Methoden gegeben werden. Zudem werden in Heine (i.V.) ausgesuchte Ansätze näher beschrieben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es eine Vielzahl von möglichen Methoden zur Entwicklung eines Vorhersagealgorithmus gibt (vgl. Tabelle 4), dass es einige Ansätze zum Manöver des Fahrstreifenwechsels gibt und sich diese teilweise recht deutlich unterscheiden. Als Kritikpunkt kann angegeben werden, dass die Algorithmen teilweise als sog. „Black Box“ gestaltet sind, wodurch die Ansätze nicht oder nur teilweise nachvollziehbar sind. Des Weiteren enthalten viele Ansätze lediglich eine Approximation. Die Ansätze werden zudem dem induktiven Ansatz einer Fahrermodellierung bzw. -beschreibung zugerechnet (vgl. Abbildung 1). Gemäß Kapitel 1.2 fokussiert die vorliegende Arbeit jedoch den aus der Theorie kommenden Ansatz einer Deduktion. Ein grundlegendes Wissen über das Vorhandensein und über gewisse Details der vorhandenen Ansätze ist jedoch auch bei der Entwicklung einer deduktiven Methode zuträglich.

2.3. Fahrmanöver

Wie bereits in der Motivation (Kapitel 1.1) erläutert, kann die Betrachtung der Fahrerabsicht auf Basis der Durchführung von einzelnen Fahrmanövern in der Zukunft stattfinden (vgl. Kretschmer et al. (2006)). Auch wenn in Kapitel 1.2 bereits festgelegt wurde, dass als Beispielmanöver der Fahrstreifenwechsel gewählt wird, soll an dieser Stelle eine Übersicht zu weiteren möglichen Anwendungsfällen gegeben werden. Daher folgt ein Überblick zu möglichen Fahrmanövern.

Gemäß Schneider (2009) ist ein Fahrmanöver „eine Aktion bzw. Aktionsfolge (Aneinanderreihung mehrerer Aktionen) eines Verkehrsteilnehmers, welche die aktuelle Fahrsituation in eine neue Fahrsituation überführt“ (vgl. auch Berndt et al. (2008)). Eine Fahrsituation wird gemäß Abendroth (2001) „durch Art, Anzahl, Geschwindigkeit und Ort anderer Fahrzeuge und Verkehrsteilnehmer, die sich in die gleiche Fahrtrichtung bewegen, sowie durch die Relativgeschwindigkeit und den Abstand zu diesen Fahrzeugen“ bestimmt. Ein Fahrmanöver ermöglicht zudem nach Schneider (2009) die „Prädiktion einer Situation“. Des Weiteren beschreibt Schneider (2009), dass sich Fahrmanöver aus unterschiedlichen Situationen zusammensetzen bzw. den Übergang zwischen Situationen bedingen können - so überführt das Fahrmanöver Fahrstreifenwechsel bspw. die Situation einer „Annäherungsfahrt“ in die einer „freien Fahrt“. Dambier (2010) schlägt vor ein Fahrmanöver als „das durch den Fahrer bestimmte aktuelle verhaltensbezogene Muster des Fahrzeugs im Verkehr“ anzusehen. Zudem werden in Dambier (2010) Manöver als disjunkt angesehen, d.h. dass zu einem Zeitpunkt jeweils ein einzelnes Fahrmanöver aktiv ist.

Nagel und Enkelmann (1991) definieren eine Gesamtzahl von 17 unterschiedlichen grundlegenden Manövern. Bajcsy und Nagel (1996) ergänzen noch das weitere Manöver *Stillstand*, sodass Tabelle 5 insgesamt 18 definierte Fahrmanöver enthält.

Tabelle 5: Liste grundlegender Fahrmanöver nach Nagel und Enkelmann (1991) und Bajcsy und Nagel (1996) (Übersetzung gemäß Tölle (1996))

Nr.	Bezeichnung des Fahrmanövers
1	Anfahren
2	Straßenzug folgen
3	Annähern an einen sich vor dem Fahrzeug befindlichen Gegenstand
4	Überholen
5	Vor einem Gegenstand anhalten
6	Links/rechts an einem Gegenstand vorbeifahren
7	Hinter einem anfahrenden Fahrzeug anfahren
8	Einem Fahrzeug folgen
9	Eine Kreuzung überqueren
10	Fahrstreifenwechsel nach links/rechts
11	Links/rechts abbiegen
12	Am rechten Straßenrand anhalten
13	Rückwärts fahren
14	Kehre links/rechts
15	Fahrtrichtung umkehren
16	In eine Parklücke einfahren
17	Aus einer Parklücke ausfahren
18	Stillstand

Tölle (1996) reduziert die Fahrmanöver von Nagel und Enkelmann (1991) durch verschiedene Zusammenfassungen auf neun Fahrmanöver (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Liste der reduzierten Fahrmanöver nach Tölle (1996)

Nr.	Bezeichnung des Fahrmanövers
1	Anfahren
2	Folgen
3	Annähern
4	Passieren
5	Kreuzung überqueren
6	Fahrstreifenwechsel
7	Abbiegen
8	Umkehren
9	Parken

Die Übersicht zu Fahrmanövern von Dambier (2010) umfasst insgesamt 12 Manöver und kann Tabelle 7 entnommen werden. Dabei wird im Vergleich zu den beiden zuvor genannten Übersichten auch das Manöver Anfahren berücksichtigt und in der Übersicht von Dambier werden auch „besondere Fahrmanöver“ genannt, zu denen auch Notmanöver gezählt werden können.

Tabelle 7: Liste der Fahrmanöver nach Dambier (2010)

Nr.	Bezeichnung des Fahrmanövers
1	Stillstand
2	Fahrstreifenwechsel
3	Abbiegen
4	Anfahren
5	Folgen
6	Anhalten
7	Annähern
8	Passieren
9	Überholen
10	Langsames navigieren (zur Korrektur der Orientierung)
11	Parkmanöver
12	Besondere Fahrmanöver (z.B. zur Unfallvermeidung)

Die Übersicht von Dambier (2010) stellt im Vergleich zu denen von Nagel und Enkelmann (1991) bzw. Bajcsy und Nagel (1996) und Tölle (1996) einen guten Kompromiss aus Detailgrad und Kompaktheit dar und sieht als einzige der betrachteten Übersichten auch Notmanöver vor.

Es kann abschließend festgehalten werden, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Manöver gibt, die sich teilweise sehr stark unterscheiden und auch unterschiedliche Relevanz hinsichtlich einer Unterstützung durch ein Assistenzsystem haben.

2.4. Fahreradaptive Fahrerassistenzsysteme

In Kapitel 1.1 wurde die generelle Wichtigkeit von FAS und die Notwendigkeit der Anpassung der Systeme an den Fahrer (siehe Gründl (2002) oder Irmscher (2001)) zur Reduzierung bzw. Eliminierung des Warndilemmas (siehe Fecher und Hoffmann (2015)) dargestellt. Auch Doshi und Trivedi (2011) betonen, dass bei FAS der Fahrer und sein Zustand bzw. Verhalten nicht ausreichend berücksichtigt werden. Im folgenden Kapitel werden beispielhaft Assistenzsysteme (Stand der Technik) erläutert, bei denen eine Anpassung an den Fahrer bereits vorgesehen ist. Dabei werden Systeme fokussiert, die eine Relevanz für das gewählte Beispielmanöver des Fahrstreifenwechsels haben. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen letztlich dafür verwendbar sein Assistenzsysteme noch stärker an den Fahrer und sein Verhalten anzupassen und damit grundsätzlich zu verbessern.

Als fahreradaptive Fahrerassistenzsysteme werden im Rahmen dieser Arbeit Assistenzsysteme bezeichnet, bei denen der Fahrer und sein Verhalten bereits als Eingangsgröße Beachtung findet. Gemäß Bär et al. (2012) haben fahreradaptive Assistenzsysteme Vorteile hinsichtlich einer Effizienzsteigerung, einer höheren Vorhersagegenauigkeit und können Sicherheit und Komfort steigern, was wiederum auch „in gesteigerter Kundenakzeptanz resultiert“. Bauer et al. (2010) fassen zusammen, dass durch eine Adaption „sowohl die Qualität des Assistenzsystems als auch dessen Akzeptanz von Seiten des Autofahrers“ verbessert werden kann. Die Autoren kritisieren an Fahrerassistenzsystemen die keine Anpassung an den Fahrer und sein Verhalten vorsehen, dass diese von einem „normalen“ Verhalten des Fahrers ausgehen und dass auch Unterschiede zwischen den Fahrern nicht berücksichtigt werden. Als Beispiel nennen Bauer et al. (2010), dass ein sportlicher Fahrer später als ein konservativer Fahrer gewarnt werden könnte, da jeweils ein unterschiedlicher Komfortbereich gegeben ist. Zudem könnten Assistenzsysteme bei ungeübten Fahrern „früher und daher noch effektiver eingreifen“ (Bauer et al. (2010)). Die zusätzlichen Informationen, welche in einem fahreradaptiven Assistenzsystem beachtet werden, können demnach helfen das Warndilemma (Fecher und Hoffmann (2015)) zu mindern. Auch Winner (2015) betont, dass bei zukünftigen Assistenzfunktionen „auf ein optimales Zusammenspiel von Mensch und Maschine zu achten“ ist - dies gelte besonders bei höherem Automatisierungsgrad der Fahrzeuge. Während es bei den beispielhaft aufgeführten Ansätzen von Bär et al. (2012) und Bauer et al. (2010) primär um Aspekte wie Fahrstile und Fahrertypen geht, gibt es bereits heute Assistenzsysteme, die einfache Aktivitäten, also bspw. einzelne Eingaben des Fahrers, berücksichtigen und auf Grundlage dieser Information z.B. eine Warnung unterdrücken. Im Folgenden sollen hierzu zwei Beispiele genannt werden.

Ein **Totwinkel-Assistent**, welcher vor im toten Winkel vorhandenen Fahrzeugen und teilweise auch vor sich schnell annähernden Fahrzeugen auf dem benachbarten Fahrstreifen warnt, kann gemäß Bartels et al. (2015a) ein-, zwei- oder dreistufig aufgebaut sein. Als ein Beispiel eines einstufigen Assistenzsystems nennen Bartels et al. (2015a) u.a. das System *Toter Winkel Assistent* von Citroën. Das System informiert den Fahrer über eine gelb leuchtende Diode im Außenspiegel, sobald ein Fahrzeug im toten Winkel durch die Ultraschallsensoren detektiert wurde. Bei dem System ist keine zweite Warnstufe vorgesehen, wenn z.B. der Fahrtrichtungsanzeiger betätigt oder ein Fahrstreifenwechsel ausgeführt wird, weshalb das System - auch im Sinne dieser Arbeit - nicht als fahreradaptiv bezeichnet werden kann. Anders als beim System von Citroën kann beim System *Aktiver Totwinkel-Assistent* von Mercedes Benz durch die vorgesehene Eskalation der Warnung in Abhängigkeit der Fahrereingabe von einem fahreradaptiven Fahrerassistenzsystem gesprochen werden. Gemäß Bartels et al. (2015a) wird der Fahrer über ein rotes dauerhaftes Leuchten einer optischen Anzeige im Außenspiegel informiert, sobald ein Fahrzeug im überwachten Bereich über die verbauten Nahbereichsradaresensoren erkannt wurde (vgl. auch Schopper et al. (2011)). Betätigt der Fahrer nun den Fahrtrichtungsanzeiger ertönt einmalig ein Doppelton und die Leuchte fängt an zu blinken. Sobald der Fahrer trotzdem einen Fahrstreifenwechsel einleitet, folgen gemäß Bartels et al. (2015a) neben einem erneuten Doppelton und einem dauerhaften Blinken der roten Leuchten auch eine Anzeige im Multifunktionsdisplay und ein kurskorrigierender Bremseneingriff. Weitere Details zu den genannten Systemen und zu Systemen anderer Fahrzeughersteller können Bartels et al. (2015a) entnommen werden.

Als weiteres Beispiel eines fahreradaptiven Assistenzsystems kann ein **Fahrstreifenverlassenswarner** (häufig auch umgangssprachlich als Spurverlassenswarner oder im Englischen als Lane-Departure-Warning (LDW) bezeichnet) genannt werden, der gemäß Bartels et al. (2015b) den Fahrer über das ungewollte Verlassen des Fahrstreifens informiert - dazu werden typischerweise haptische und/oder optische und/oder akustische Informationen bzw. Warnungen ausgegeben. Bartels et al. (2015b) betonen, dass Fahrerinformationen oder Eingriffe „bei einem bewusst durchgeführten Fahrstreifenwechsel“ möglichst vermieden werden sollten. Dies kann gemäß den Autoren bspw. bei Überholvorgängen oder in kurvigen Bereichen vorkommen. Weiterhin wichtig sei, dass die Information über das ungewollte Verlassen des Fahrstreifens zwar deutlich wahrnehmbar, aber nicht nervend sein soll. Gemäß Bartels et al. (2015b) wirkt das System *Lane Departure Warning* von Volvo, wenn das Fahrzeug „im Begriff ist, eine Markierungslinie zu überschreiten, ohne dass ein aktives Fahrmanöver

ersichtlich ist“. Genau in diesem Punkt zeigt sich die Adaptionfähigkeit des Assistenzsystems: Betätigt der Fahrer den Fahrtrichtungsanzeiger wird das System inaktiv geschaltet. Zusätzlich wird nach Bartels et al. (2015b) das System *Aktiver Spurhalte-Assistent* von Mercedes Benz inaktiv, wenn der Lenkeinschlag des Fahrers deutlich ausgeführt wurde, da dann ein bewusster Fahrstreifenwechsel angenommen wird auch wenn der Fahrtrichtungsanzeiger nicht aktiviert wurde. Weiterführende Informationen zu Systemen der Querführungsassistenten können in Bartels et al. (2015b) gefunden werden.

Das Kapitel hat zusammenfassend gezeigt, dass es bereits Assistenzsysteme gibt, die eine Adaption an den Fahrer und sein Verhalten enthalten. Bezogen auf die Wichtigkeit der Anpassung der Systeme an den Fahrer (vgl. Kapitel 1.1) bedarf es aber der weiteren Forschung an fahreradaptiven Assistenzsystemen, um bspw. dem Warndilemma (siehe Fecher und Hoffmann (2015)) noch stärker zu begegnen zu können.

2.5. Methoden zur Analyse des Verhaltens eines Fahrzeugführers

Untersuchungen zum Verhalten von Fahrzeugführern können mit sehr unterschiedlichem Fokus und unterschiedlicher Vorgehensweise durchgeführt werden und werden bereits seit über 50 Jahren durchgeführt. So untersuchte Klebelsberg (1963) beispielsweise das Verhalten von männlichen Autofahrern, in dem er zwei Beobachter bei Versuchsfahrten im Auto mitfahren ließ, die das Verhalten der Fahrer auf Basis von 40 vorher definierten Variablen bewerteten. In dieser Untersuchung wurde primär das Fahrzeugführungsverhalten in unterschiedlichen Manövern bzw. das Risikoverhalten der Probanden fokussiert.

Trotz der langen Historie der Fahrerverhaltensuntersuchungen, gibt es gemäß Walker et al. (2015) eine „überraschende Wissenslücke“ hinsichtlich der Frage, was Fahrer tatsächlich während dem Fahrzeugführen tun. Die Autoren betonen, dass es zwar Analysen von Teilaufgaben der Fahrzeugführung gibt, dass aber der Ansatz von McKnight und Adams (1970a), der in Kapitel 2.5.1 beschrieben wird, bis auf die eigene Arbeit (siehe Kapitel 2.5.5) der einzige Versuch einer systematischen und vollständigen Aufgabenanalyse ist. Im Vergleich dazu gibt es in anderen Bereichen eine Vielzahl von Aufgabenanalysen (bspw. Stanton et al. (2013), zitiert in Walker et al. (2015)). Als möglichen Grund nennen Walker et al. (2015) die Freiheitsgrade beim Fahrzeugführen und die damit verbundene Komplexität.

Nach Fastenmeier und Gstalter (1991) sind systematische Ansätze einer Aufgabeanalyse sehr selten und das, obwohl der Fahrer als zentrale Komponente im Verkehrssystem angesehen wird. Zudem seien die kognitiven Aufgabenanteile wenig analysiert. Fastenmeier und Gstalter (1991) identifizieren zudem, dass die vorhandenen Aufgabenanalysen meist für die Analyse eines Einflusses auf die Fahrzeugführung, wie bspw. Ermüdung oder Belastung bzw. Beanspruchung, durchgeführt wurden und annähernd nie das Motiv einer Methodenentwicklung an sich vorlag. Des Weiteren sei teilweise eine Überarbeitung der vorhandenen Ansätze nötig und es gäbe einen Bedarf der grundlegenden Entwicklung einer Analysemethode. Auch Fastenmeier und Gstalter (2003) resümieren, dass es bislang keine verkehrsspezifischen Standardverfahren gibt, „die eine Anforderungsanalyse auf der Ebene der Fahraufgaben erlauben“, weshalb der Ansatz SAFE (*Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben*, siehe Kapitel 2.5.4) erarbeitet wurde.

Die durchgeführte Literaturanalyse zeigt, dass es interessante Ansätze aus dem Bereich der Fahrausbildung gibt. Zu diesen werden in den Kapiteln 2.5.1 bis 2.5.3 drei Beispiele näher erläutert, die als Grundlage für die weitere Arbeit relevant sind. Des Weiteren werden in zwei weiteren Unterkapiteln Details der zuvor angesprochenen Methode SAFE von Fastenmeier und Gstalter (2003) und der Methode *Hierarchical Task Analysis of Driving* (HTAoD) von Walker et al. (2015) beschrieben, da auch in diesen interessante Aspekte für den weiteren Verlauf dieser Arbeit enthalten sind. Für eine ergänzende Übersicht zu Ansätzen vor den 1990er-Jahren sei hiermit auf Fastenmeier und Gstalter (1991) verwiesen.

2.5.1. Driver Education Task Analysis von McKnight, Adams und Hundt

Das insgesamt vierteilige Werk zur *Driver Education Task Analysis* (DETA) bestehend aus McKnight und Adams (1970a), McKnight und Adams (1970b), McKnight und Hundt (1971a) und McKnight und Hundt (1971b) verfolgt gemäß McKnight und Adams (1970a) den Zweck Ziele der Fahrausbildung (gemäß McKnight und Adams (1970b) bspw. auch in Schulen) aus einer Analyse der Fahraufgabe abzuleiten. Es besteht aus einem Inventar zum Verhalten der Fahrzeugführung und aus der zugehörigen Bewertung der Kritikalität des Verhaltens, welches z.B. bei der Vorbereitung von Instruktionsmaterialien für Fahrlehrer helfen soll (McKnight und Adams (1970a)).

Aus Sicht von McKnight und Adams (1970a) kann das gesamte Werk in Teilen auch für eine sehr breite Nutzergruppe von Verkehrsplanern bis zu Automobilkonstrukteuren von Interesse sein. Ob eine Aufgabenanalyse, welche alle Bedarfe der möglichen Beteiligten abdeckt, nötig ist, bezeichnen die Autoren als offene Frage.

McKnight und Adams (1970a) führen bei der Aufgabenanalyse folgende Aufgabenkategorien (in englischer Originalsprache dargestellt) ein:

- Basic Control Tasks
- General Driving Tasks
- Tasks Related To Traffic Conditions
- Tasks Related To Roadway Characteristics
- Tasks Related To The Environment
- Tasks Related To The Car
- Pre-Trip Tasks
- Maintenance Tasks
- Legal Responsibilities

Zu diesen Kategorien wurden unterschiedliche Verhaltensweisen zu einzelnen Aufgaben, die zu einer spezifischen Situation gehören, zusammengefasst.

Die Aufgabenbeschreibungen enthalten gemäß McKnight und Adams (1970a) eine Beschreibung des Verhaltens während der Aufgabendurchführung, eine Aussage zur jeweiligen Kritikalität und zusätzlich erklärende Informationen.

McKnight und Adams (1970b) beschreiben, dass eine reine Beobachtung von Verhalten der Fahrzeugführer nicht zielführend gewesen wäre, da die meiste Zeit immer wiederholende Verhaltensweisen gefunden worden wären, u.U. gar keine hochkritischen Situationen aufgetreten wären (diese waren aber vorgesehen), die Verhaltensweisen nicht zwingend zur Situation angemessen sein müssen und andere Verhaltensweisen (bspw. der Wahrnehmung oder Verarbeitung von Informationen) per Beobachtung nicht ermittelt werden können. Aus diesen Gründen wurde hauptsächlich eine formale Analyse durchgeführt, welche die Analyse von Systemfunktionen und Systemoperationen, die zugehörigen menschenbezogenen Aufgaben und die zu den individuellen Aufgaben wiederum zugehörigen Verhaltenselemente enthält. Hierbei gibt es gemäß McKnight und Adams (1970b) jedoch die Problematik, dass bei dem System „Fahrzeugführen“ keine detaillierten (Sequenzen von) Funktionen vorhanden sind und dass nicht immer klare Hierarchien gefunden werden können.

Nachdem dennoch die zu betrachtenden spezifischen Situationen und die zugehörigen Verhaltensweisen ermittelt wurden, konnten diese bzgl. ihrer zeitlichen, funktionellen oder anderen logischen Beziehung zueinander geordnet werden. Bevor die Ergebnisse mit Literaturerkenntnissen abgeglichen wurden, wurden folgende Schritte durchlaufen (weiterführende Informationen zu den einzelnen Schritten können McKnight und Adams (1970b) entnommen werden):

- Identifikation von generellen Systemcharakteristika und relevanter Situationen
- Identifikation von benötigten Verhaltensweisen beim Fahrzeugführen
- Ordnung der Verhaltensweisen beim Fahrzeugführen
- Durchführung der detaillierten Aufgabenanalyse

Auch wenn die Autoren eigenständig zu bedenken geben, dass die Aufgabenanalyse grundsätzlich nur für den eigentlichen Zweck der Vorbereitung einer Fahrausbildung ausgelegt ist und die Aufgabenanalyse nicht direkt als Instruktionsmaterial nutzbar ist, fassen sie zusammen, dass die DETA dennoch einen großen Wert haben kann, da es die vollständigste (bis dato verfügbare) Übersicht zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers darstellt.

Die Aufgabenanalyse verfügt über insgesamt 45 Aufgaben (tasks) und weit über 1.000 sub-tasks. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Details zum Fahrstreifenwechsel (Task 34). Dabei wird deutlich, dass eine Einteilung in insgesamt vier Abschnitte (34-1 Entscheidung zum Fahrstreifenwechsel, 34-2 Vorbereitung des Fahrstreifenwechsels, 34-3 Fahrstreifenwechsel und 34-4 Beendigung des Fahrstreifenwechsels) vorgenommen wurde. Es wird zudem ersichtlich, dass die Aufgabenanalyse Einträge umfasst, die Hinweise zu Verkehrsregeln und deren möglicher Überschreitung enthält (Zeile 34-11 aus Abbildung 5). Zeile 34-12ff beschreiben ein mögliches Blickverhalten beim Fahrstreifenwechsel, während in Zeile 34-21 die Benutzung des Fahrtrichtungsanzeigers genannt ist. Des Weiteren werden auch eine Geschwindigkeitsanpassung (Zeile 34-22) und die Lenkaufgabe (Zeile 34-32) beschrieben.

Task 34: Lane Change (See 32, Passing; 41, Negotiating Intersections; and 42, On-Ramps and Off-Ramps)	
34-1	DECIDES TO CHANGE LANES
34-11	Determines whether lane change is legally permissible
34-111	Looks for regulatory signs prohibiting lane change well in advance of maneuver
34-112	Observes pavement markings
34-12	Looks for rear approaching traffic in new lane
34-121	Checks rearview mirror(s) to observe
34-1211	Vehicles passing new lane
34-1212	Following vehicles closing fast from rear in new lane
34-1213	Following vehicles about to enter new lane
34-122	Looks out window to check blind spot, moving head enough to see around blind spot
34-1221	Varies speed of car very slightly to help bring into view any vehicle traveling in the blind spot at exactly the same speed as the car
34-123	On multi-lane roads looks for vehicles about to enter new lane from the far adjacent lane
34-2	PREPARES TO CHANGE LANES
34-21	Signals intention to change lane by activating directional signal and/or employing appropriate hand signal
34-22	Adjust car speed
34-221	Accelerates if possible or maintains speed
34-3	CHANGES LANE
34-31	If possible waits a few seconds after signal before beginning lane change
34-32	Turns wheels and enters new lane
34-4	COMPLETES LANE CHANGE
34-41	Positions car in the center of new lane
34-42	Cancels directional signal
34-43	Adjusts speed to traffic flow in new lane

Abbildung 5: Übersicht des „task“ eines Fahrstreifenwechsels aus der Aufgabenanalyse von McKnight und Adams (1970a) in englischer Originalsprache inkl. Hervorhebung besonders interessanter Zeilen in der Farbe blau

In McKnight und Hundt (1971a) ist beschrieben, wie die Aspekte der Aufgabenanalyse in insgesamt 74 Kurseinheiten einer Fahrausbildung gruppiert wurden, während in McKnight und Hundt (1971b) das gesamte Vorgehen inkl. der Erarbeitung der Fahrausbildungsziele erläutert wird. Fastenmeier und Gstalter (1991) betonen, dass die Aufgabenanalyse DETA eine hohe Vollständigkeit ausweist. Auch wenn der beschriebene Ansatz gemäß Walker et al. (2015) hilfreiche Erkenntnisse enthält, kritisieren die Autoren an der DETA, dass diese nicht hierarchisch aufgebaut ist. Weitere Kritikpunkte werden in Kapitel 2.5.6 genannt.

2.5.2. Guidelines for Driver Instructions der OECD

Die sog. *Guidelines for Driver Instructions* (GDI) der *Organisation For Economic Co-Operation And Development* (OECD) wurden gemäß OECD (1981) dazu entwickelt Innovationen im Feld der Fahrausbildung zu generieren. Ziel war es aus geleisteter Forschungsarbeit und Erfahrungen aus der Praxis Prinzipien und Methoden für die Fahrausbildung abzuleiten. Gemäß OECD (1981) umfassen die GDI folgende Aspekte:

- Pädagogische Prinzipien und Methoden der Fahrausbildung
- Lernziele der Fahrausbildung
- Systematische Programme zur Fahrausbildung
- Lehr- und Trainingshilfsmittel
- Untersuchungsanforderungen und Evaluationsmethoden

Die GDI enthält bei den Lernzielen der Fahrausbildung eine Übersicht zu Aktivitäten eines Fahrers und gliedert diese nach OECD (1981) in die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern, die Geschwindigkeitsanpassung für einen ausreichenden Sicherheitsabstand, die Raumaufteilung für einen ausreichenden Sicherheitsabstand, die Sicherstellung passender Entfernungen für einen ausreichenden Sicherheitsabstand und den Umgang mit Notfällen aufgrund von Fehlern (eigene oder Fehler anderer Verkehrsteilnehmer). Zu diesen Kategorien werden Beispiele genannt - so kommt es bzgl. der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern u.a. darauf an, dass „Absichten verdeutlicht werden, in dem die Geschwindigkeit oder die Fahrzeugposition angepasst wird“ oder dass „eine Änderung der Fahrtrichtung signalisiert wird“ (vgl. OECD (1981)).

Im weiteren Verlauf werden bei den systematischen Programmen zur Fahrausbildung die Struktur einzelner Unterrichtseinheiten entwickelt, die bei der Fahrausbildung beachtet werden sollen. Diese Unterrichtseinheiten zeigen auf einem relativ detaillierten Level weitere Aktivitäten, die mit dem Fahrschüler durchgegangen werden sollen. Abbildung 6 zeigt dazu das Beispiel der Einheit zum „Starten des Fahrzeugs, dem anschließenden Geradeausfahren und dem anschließenden Stoppen des Fahrzeugs“ (OECD (1981)).

- | | |
|---|--|
| 1 | Starten des Fahrzeugs |
| 2 | Wechsel in den 1. Gang |
| 3 | Gas geben und langsames Geradeausfahren |
| 4 | Geschwindigkeitskontrolle rein durch Verwendung der Kupplung |
| 5 | Wechsel in den 2. Gang |
| 6 | Halten des möglichst geraden Kurs |
| 7 | Bremsen |
| 8 | Anhalten |

Abbildung 6: Beispiel der beschriebenen Aktivitäten der Einheit zum „Starten des Fahrzeugs, dem anschließenden Geradeausfahren und dem anschließenden Stoppen des Fahrzeugs“ übersetzt aus OECD (1981)

Abbildung 6 verdeutlicht, dass die Aktivitäten, die zu den Einheiten beschrieben werden verschiedene Aspekte beinhalten. So wird bspw. in Zeile 2 und 5 jeweils ein Schaltvorgang beschrieben. Zeile 3 nennt eine Aktivität, die Längs- und Querführungsanteile hat, während Zeile 6 die reine Querführung und Zeile 7 die reine Längsführung betrifft.

Hierin kann auch eine der Schwachstellen der Methode gesehen werden. So werden in den Aktivitäten teilweise unterschiedliche Aspekte vermischt oder die Aktivitäten sind teilweise sehr grob gehalten (vgl. Zeile 1 in Abbildung 6). Dennoch sollte die Quelle nicht unbeachtet bleiben, da Hinweise zu relevanten Aktivitäten der Fahrzeugführung enthalten sind.

2.5.3. Denktzettel zur Fahrausbildung des Fahrlehrerverbands Hamburg

Ein weiteres Beispiel eines Ansatzes, wie das Fahrerverhalten strukturiert werden kann, damit es im Rahmen der Fahrausbildung gut vermittelt werden kann, zeigt das Prinzip der *Denktzettel* (Hamburger Fahrlehrerverband (2016b)). Gemäß Hamburger Fahrlehrerverband (2016b) sollen die *Denktzettel* es ermöglichen, dass der Fahrschüler sich mental auf eine anstehende Fahrstunde und die nötigen „Handlungsabläufe“ einzelner Manöver oder Situationen vorbereiten kann, indem die Vorgehensweise inkl. der Reihenfolge detailliert beschrieben wird. Tabelle 8 zeigt die beschriebene Vorgehensweise des entsprechenden Dokuments zu einem Fahrstreifenwechsel.

Tabelle 8: Auszug aus der Vorgehensweise des „Denktzettels“ zum Manöver Fahrstreifenwechsel Hamburger Fahrlehrerverband (2016a)

Reihenfolge	Vorgehensweise
1	Spiegelbeobachtung (Innen- + Außenspiegel)
2	Blinken
3	Spiegelbeobachtung wiederholen
4	Ggf. Geschwindigkeit anpassen
5	Spiegelbeobachtung wiederholen
6	Seitenblick
7	Fahrstreifen wechseln
8	Blinker aus
9	Sicherheitsabstände (vorne/hinten) einhalten
10	Ohne ausreichende Lücke auf den Fahrstreifenwechsel verzichten
11	Ggf. Umwege in Kauf nehmen

Es kann festgehalten werden, dass die *Denktzettel* sowohl die Absicherung über Spiegelblicke, die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers, Geschwindigkeitsanpassungen und Aktivitäten der Querführung beinhalten. Zudem werden Alternativwege aufgezeigt, sofern die Durchführung des eigentlich geplanten Manövers nicht möglich ist (siehe Zeile 10 und 11). Als Nachteil kann festgehalten werden, dass die *Denktzettel* immer nur für ein spezifisches Manöver entwickelt wurden und sich somit keine allgemeingültige Beschreibungsmethode ableiten lässt.

2.5.4. Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben von Fastenmeier und Gstalter

Als Begründung der Entwicklung der *Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben* (SAFE) geben Fastenmeier und Gstalter (2003) bzw. Fastenmeier und Gstalter (2007) das Fehlen von „verkehrsspezifischen Standardverfahren, die eine Anforderungsanalyse auf der Ebene der Fahraufgaben erlauben“ an. Die Methode SAFE „basiert auf einer Modellvorstellung zu den Informationsverarbeitungsprozessen, die während der Bewältigung der Fahraufgabe eine Rolle spielen“. In der Analyse werden ausgewählte Fahraufgaben in Teilaufgaben zerlegt und diese werden anschließend zeitlich strukturiert. Zusätzlich werden den Teilaufgaben gemäß Fastenmeier und Gstalter (2003) räumliche Segmente zugeordnet, die „nacheinander durchfahren werden müssen“. Die eigentliche Analyse bzgl. der Anforderungen der jeweiligen Aufgaben erfolgt dann nach folgender Gliederung:

- Wahrnehmung
- Erwartungsbildung
- Beurteilung
- Gedächtnisprozesse
- Entscheidung/Planung
- Fahrzeugbedienung

Die Analyse fokussiert dabei auf typische Fehler bei den Teilaufgaben und es werden Komplexitäts- und Risikoeinschätzungen vorgenommen, woraus wiederum Anforderungen abgeleitet werden und ein Entlastungspotential (bspw. durch Fahrerassistenzsysteme) ermittelt werden kann (Fastenmeier und Gstalter (2003)). Unter Anforderungen verstehen Fastenmeier und Gstalter (2003) in diesem Zusammenhang Soll-Werte zu mentalen und psychomotorischen Leistungen, die zur Bewältigung der jeweiligen Fahraufgabe nötig werden. Diese Verhaltens-Sollwerte beschreiben, wie die Aufgabe normalerweise gelöst werden sollte und anhand dieser Basis kann das Ist-Verhalten der Fahrer untersucht werden.

Fastenmeier und Gstalter (2003) verdeutlichen die Methode durch die Darstellung eines Beispiels - so werden für das erste räumliche Segment bei der Annäherung an eine T-Kreuzung, an der der Fahrer nach links abbiegen möchte folgende Teilaufgaben ermittelt:

- TA1.1: Erkennen, dass Annäherung an Kreuzung
- TA1.2: Erkennen, dass T-Kreuzung
- TA1.3: Linksabbiegen erlaubt?
- TA1.4: Erkennen der Vorfahrtregelung
- TA1.5: Signalisieren der Fahrtrichtung
- TA1.6: Andere Verkehrsteilnehmer im Einfahrtbereich beachten

Die zeitliche Ordnung der Teilaufgaben durch Fastenmeier und Gstalter (2003) führt dazu, dass die Teilaufgaben TA1.2 und TA1.3, sowie TA1.4 und TA1.5 parallel zueinander angesehen werden und die beiden Teilaufgabenpaare nacheinander ablaufen, während TA1.1 vorgelagert und TA1.6 nachgelagert angesehen wird.

Für die Teilaufgabe TA1.1 stellen die Autoren noch beispielhaft vier Anforderungen dar:

- A1.1: Beobachten des voranliegenden Fahrkorridors
- A1.2: Entdecken querender Verkehrsteilnehmer, Bebauungen/Lücken, Beschilderungen, (ggf. verlangsamte) vorausfahrende Fahrzeuge
- A1.3: Suchen von Bebauung bzw. Beschilderung
- A1.4: Dekodierung der Beschilderung

Es ist erkennbar, dass die Methode Informationsverarbeitungsprozesse in den Vordergrund rückt und die eigentliche Fahrzeugbedienung eher eine untergeordnete Rolle spielt. Fastenmeier und Gstalter (2003) geben an, dass durch SAFE Antworten gefunden werden können, „warum, d.h. aufgrund welcher Kombination von Anforderungen, eine Teilaufgabe [...] komplex oder riskant ist“ - dadurch kann abgeschätzt werden, wo ein Technikeinsatz durch Assistenzsysteme lohnenswert sein kann. Nach Fastenmeier und Gstalter (2007) wurden durch SAFE ein theoretischer und methodischer Rahmen für die Verhaltensanalyse in unterschiedlichen Kontexten geschaffen. Die universelle Einsetzbarkeit der Methode, zeigt sich gemäß Fastenmeier und Gstalter (2003) darin, dass die Methode nicht auf bestimmte Streckentypen oder Manöver beschränkt ist. Dennoch sei die Methode auch sehr sensibel bzgl. kleiner Unterschiede in den Analyseeinheiten. Es bleibt nach Fastenmeier und

Gstalter (2003) festzuhalten, dass SAFE kein endgültiges und fertiges Verfahren ist, da bis dahin noch Schritte bzgl. einer Standardisierung und Validierung nötig wären.

2.5.5. Hierarchical Task Analysis of Driving von Walker, Stanton und Salmon

Die *Hierarchical Task Analysis of Driving* (HTAoD) von Walker et al. (2015) beruht auf der Vorarbeit von McKnight und Adams (1970a) (siehe Kapitel 2.5.1), dem UK Highway Code (basierend auf dem Road Traffic Act von 1991), Informationen und Materialien der UK Driving Standard Agency, einem Handbuch zum Motorradfahren, Expertenwissen und zahlreichen Studien des Fahrerverhaltens. Sie wurde entwickelt, um die bereits zuvor erwähnte Wissenslücke, was Fahrer während dem Fahrzeugführen tun, füllen zu können. Die Analyse folgt folgenden drei Prinzipien:

- Auf der obersten Ebene bestehen Aufgaben aus Operationen und die Operationen sind bezüglich Ihrer Ziele definiert
- Jede Operation kann in Teiloperationen unterteilt werden, welche wiederum über Teilziele definiert werden
- Die Beziehung zwischen Operationen und Teiloperationen ist hierarchisch

Die gesamte Aufgabenanalyse enthält über 1.600 Aufgaben und 400 zugehörige „plans“, bei denen logische Operatoren (z.B. AND, IF, THEN) benutzt werden. Dabei wurden die Aufgaben insgesamt sechs Unterzielen (first-level sub-goals) zugeordnet - diese sind (in englischer Originalsprache):

- Pre-Drive Tasks
- Basic Vehicle Control Tasks
- Operational Driving Tasks
- Tactical Driving Tasks
- Strategic Driving Tasks

Walker et al. (2015) resümieren, dass eine Aufgabenanalyse typischerweise keine Aufgaben, sondern Interaktionen modelliert. Zudem sei die HTAoD keine Repräsentation wie ein Jeder fährt und auch keine eigene Theorie zur Fahrzeugführung. Stattdessen sei es möglich zu untersuchen, wie Fahrzeugtechnologien die Fahraufgabe beeinflussen und wie die psychologischen Prozesse dahinter aussehen. Die Autoren bezeichnen die HTAoD als „leistungsfähiges Werkzeug“, welches zuvor nicht vorhanden war.

Abbildung 7 zeigt beispielhaft einen Auszug aus dem „plan“ einer Überholaufgabe. Es ist erkennbar, dass die Aufgabenanalyse von Walker et al. (2015) sehr unterschiedliche Aufgaben beinhaltet: So ist in Zeile 3 von Abbildung 7 ersichtlich, dass auch Verkehrsregeln involviert sind - hierbei ist zu beachten, dass die Aufgabenanalyse in England und damit einem Land mit Linksverkehr durchgeführt wurde. Des Weiteren befinden sich Aufgaben etwas einzuschätzen (z.B. die Überholdauer, siehe Zeile 12 von Abbildung 7) oder zu erwägen (Zeile 21) in der Analyse. In Zeile 26 wird beschrieben, wie eine Geschwindigkeitsanpassung stattzufinden hat, während Zeile 32 die Wahl des passenden Gangs beinhaltet. Die Zeilen 42-45 zeigen ein detaillierteres Bild zu dem potentiellen Blickverhalten des Fahrzeugführers und Zeile 50 nennt die Benutzung des Fahrtrichtungsanzeigers. Zu guter Letzt wird in Zeile 51 die Querbewegung des Fahrzeugs beschrieben.

```

1  3.3 Overtake other moving vehicles
2  Plan 3.3 - WHILE 1 do 2 THEN 3 THEN 4 THEN 5 THEN 6. IF overtaking in a stream of vehicles THEN 7 THEN 6
3  3.3.1 generally avoid overtaking on the left
4  3.3.2 « GO TO subroutine 3.2 'following' »
5  3.3.3 assess the road and traffic conditions for an opportunity to overtake safely
6  Plan 3.3.3 - WHILE 1 do 2 AND 3 AND 4 AND 5 THEN 6 AND 7. IF any of these parameters render the completion of the passing
7  manoeuvre doubtful/unsafe THEN 8
8  3.3.3.1 observe oncoming traffic
9  Plan 3.3.3.1 - do 1 AND 2 AND 3 AND 4 AND 5
10  3.3.3.1.1 judge distance from first oncoming vehicle
11  3.3.3.1.2 judge lead vehicles relative speed
12  3.3.3.1.3 judge available passing time
13  ...
14  3.3.4 adopt the overtaking position
15  Plan 3.3.4 - do 1 THEN 2 AND 3 THEN 4
16  3.3.4.1 undertake information phase
17  Plan 3.3.4.1 - WHILE 1 AND 2 IF an overtaking opportunity begins to develop THEN 3 AND 4
18  3.3.4.1.1 continue observing road ahead « GO TO subroutine 5.1 'surveillance' »
19  3.3.4.1.2 continue observing road behind (periodically) « GO TO subroutine 5.1 'surveillance' »
20  3.3.4.1.3 plan overtaking move
21  3.3.4.1.4 consider the need to indicate
22  ...
23  3.3.4.3 undertake speed phase
24  Plan 3.3.4.3 - WHILE 1 do 2
25  3.3.4.3.1 avoid 'tailgating' and intimidating lead vehicle
26  3.3.4.3.2 adjust speed to that of vehicle in front (smoothly)
27  Plan 3.3.4.3.2 - IF lead vehicle speed > car speed THEN 1 IF lead vehicle speed < car speed THEN 2
28  3.3.4.3.2.1 « GO TO subroutine 2.3.2 'increase current speed' »
29  3.3.4.3.2.2 « GO TO subroutine 2.4 'decrease speed' »
30  3.3.4.4 undertake gear phase
31  Plan 3.3.4.4 - do 1 ELSE 2
32  3.3.4.4.1 select the most responsive gear for completing the overtaking manoeuvre
33  ...
34  3.3.5 perform overtaking manoeuvre
35  Plan 3.3.5 - do 1 THEN 2 THEN 3
36  3.3.5.1 undertake information phase
37  Plan 3.3.5.1 - do 1 AND 2 AND 3 AND 4 THEN 5
38  3.3.5.1.1 recheck that there is adequate vision along particular stretch of road
39  3.3.5.1.2 recheck that there is a gap ahead in which to safely return to after completing the overtake
40  ...
41  Plan 3.3.5.1.5 - do 1 AND 2, do 3 IF view behind is enhanced. IF immediately prior to entering position phase THEN 4
42  3.3.5.1.5.1 glance in rear-view mirror
43  3.3.5.1.5.2 glance in offside side mirror
44  3.3.5.1.5.3 glance in nearside side mirror
45  3.3.5.1.5.4 check blind spot by glancing (quickly) over right shoulder
46  3.3.5.2 undertake position phase
47  Plan 3.3.5.2 - WHILE 1 do 2 THEN 3 THEN 4. IF results of final safety checks render the completion of the intended
48  manoeuvre doubtful THEN 5 AND 6
49  3.3.5.2.1 maintain current speed
50  3.3.5.2.2 use appropriate indicator
51  3.3.5.2.3 move vehicle completely into offside position
52  ...

```

Abbildung 7: Auszug aus dem „plan“ einer Überholaufgabe der Aufgabenanalyse von Walker et al. (2015) in englischer Originalsprache inkl. Hervorhebung besonders interessanter Zeilen in der Farbe blau

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die HTAoD eine sehr detaillierte Analyse von relevanten Aufgaben während der Fahrzeugführung darstellt. Der sehr hohe Detailgrad kann jedoch auch als Kritikpunkt dargestellt werden, da die Aufgaben teilweise sehr komplex beschrieben werden. Durch sehr viele Verknüpfungen zwischen den Aufgaben können zudem Probleme hinsichtlich eines Gesamtüberblicks über die Aufgaben entstehen. Auf der anderen Seite kann resümiert werden, dass gewisse Aspekte, wie bspw. Details einer Lenkbewegung (siehe dazu auch Kapitel 2.5.6) ausgespart werden.

2.5.6. Fazit zu den dargestellten Analysemethoden

Zu den Methoden aus Kapitel 2.5 wird nachfolgend ein Fazit gezogen und es werden Eigenschaften, aber auch Kritikpunkte bzgl. der Methoden gesammelt, die entweder von anderen Autoren oder eigenständig identifiziert wurden. So werden in den beschriebenen Methoden teilweise Faktoren aus unterschiedlichen Einflussbereichen vermischt. In der DETA werden bspw. Aktivitäten des Fahrers direkt in Verbindung mit Umwelteinflüssen, aber auch mit den Folgen der Aktivitäten verknüpft. Eine grundlegende und allgemeingültige Methode sollte jedoch ohne diese Vermengung entwickelt werden, da selbst das nicht mit anderen Aspekten verknüpfte Verhalten des Fahrers schon eine sehr hohe Komplexität besitzt. McKnight und Adams (1970b) nennen bzgl. der DETA, dass teilweise eine „Sequenz von Aktivitäten zu einem spezifischen Ziel“, in anderen Fällen Aufgaben, die zu einer generellen Situation gehören, vermischt werden. Die DETA ist demnach eher auf einen Folgeschritt einer grundlegenden Methode ausgerichtet - die Lücke einer grundlegenden Methode bleibt weiterhin bestehen. Die Methode SAFE ist gemäß Fastenmeier und Gstalter (2003) sehr auf Fehler bzw. die „Schätzung von Komplexität und Risiko der einzelnen Teilaufgaben“ aufgelegt und eignet sich daher ebenfalls nicht als grundlegende und allgemeingültige Beschreibungsmethode. Weiterhin schreiben Fastenmeier und Gstalter (2003), dass SAFE nur die SOLL-Daten zu einer Fahraufgabe zur Verfügung stellt, es sich aber nicht um eine Methode zur Analyse der IST-Daten handelt. Dies bedeutet, dass ein idealisiertes Verhalten in den vorhandenen Methoden fokussiert wird. Der reale Ablauf des Fahrerverhaltens wird jedoch selten oder gar nie diesem idealisierten Ablauf folgen, da Fahrer dazu tendieren ihr Verhalten aufgrund eigener Erfahrungen und Gewohnheiten gezielt anzupassen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es jedoch erstrebenswert eine Methode zur Analyse der nicht idealisierten IST-Daten zu entwickeln, um hinsichtlich der Verbesserung von Assistenzsystemen bzw. dem grundlegend besseren Verständnis des Fahrerverhaltens näher zu kommen (vgl. Kapitel 1.1). Ergänzend kann festgehalten werden, dass die beschriebenen Methoden auf der einen Seite teilweise zu detailliert sind (vgl. bspw. Abbildung 5 und Abbildung 7), auf der anderen Seite aber an anderer Stelle keinen ausreichenden Detailgrad aufweisen. So wird in den Methoden DETA, HTAoD oder auch in den *Denkzetteln* bspw. nur ein allgemeines Lenken beim FSW beschrieben. Es wird aber nicht darauf eingegangen, dass dieses Lenken mit unterschiedlichen Lenkradwinkeln oder Lenkradwinkelgeschwindigkeiten ausgeführt werden kann. Durch dieses Versäumnis können u.U. wertvolle Informationen hinsichtlich einer Verhaltensvorhersage verloren gehen, da es bspw. manöverspezifische Werte der genannten Messgrößen gibt. Auf der anderen Seite muss zur HTAoD gesagt werden, dass durch die komplexen Verknüpfungen zwischen den Aufgaben und durch den großen Umfang von Details im Ablauf der Aufgaben die Handhabbarkeit der Methode leidet. Die GDI zeigt wiederum generell eher nur sehr grobe Abläufe zu gewissen Fahraufgaben. Zudem werden bei den vorhandenen Methoden nur teilweise und dann größtenteils auch nicht in ausreichendem Maße Wahrnehmungsprozesse beachtet und das obwohl gerade der visuelle Sinneskanal bei der Fahrzeugführung sehr wichtig ist, da über ihn die meisten relevanten Informationen aufgenommen werden (vgl. Rockwell (1972)). Eine ähnliche Lücke kann hinsichtlich möglicher Entscheidungsprozesse beim Fahrzeugführen gefunden werden, auch wenn die Mess- oder Detektierbarkeit dieser Prozesse als schwierig bezeichnet werden muss. Es kann letztlich resümiert werden, dass die dargestellten Methoden hinsichtlich des Ziels der vollständigen und allgemeingültigen Beschreibung des Fahrerverhaltens (vgl. Kapitel 1.2), welche gemäß den Festlegungen in Kapitel 2.1 auf Basis von Aktivitäten geschehen kann, nicht ausreichen.

2.6. Zwischenfazit inkl. Identifizierung der Forschungslücke und Beschreibung des Vorgehens zur Beantwortung

Begründet auf der Motivation aus Kapitel 1.1 wurde in Kapitel 1.2 die Zielsetzung festgehalten, eine Methode zur Beschreibung bzw. Modellierung des Fahrerverhaltens nach einem deduktiven Ansatz entwickeln zu wollen. Darauf aufbauend wurden in Kapitel 2 unterschiedliche Grundlagen aus dem aktuellen Stand der Forschung erläutert. Auf Basis der Inhalte der bisherigen Kapitel wird nun ein

Zwischenfazit gezogen und es wird eine Forschungslücke identifiziert. Des Weiteren wird ein Vorgehen zur Beantwortung der zugehörigen Forschungsfragen erarbeitet.

In Kapitel 2.1 wurden zentrale Begriffe der Arbeit beschrieben und voneinander abgegrenzt. Am Ende des Unterkapitels wurden die Begriffe Verhalten, Aktivität, Aktivitätssequenz und Aktivitätsmuster für die weitere Verwendung in dieser Arbeit definiert. In Kombination mit den Erkenntnissen aus Kapitel 2.5 erscheint eine Betrachtung von Aktivitäten bezogen auf die Fahrzeugführung als vielversprechend. Detailliertere Ausführungen zu den Aspekten rund um den Begriff der Aktivität werden in Kapitel 3 gezielt aufgegriffen. In Kapitel 2.2 wurde das Fahrerverhalten beleuchtet. Es wurde festgestellt, dass es eine Vielzahl von Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten gibt und dass der Fahrer immer im Zusammenspiel mit dem Fahrzeug und der Umwelt betrachtet werden sollte (Kapitel 2.2.1). Zudem wurden verschiedene Modelle zur Beschreibung des Fahrerverhaltens erläutert (Kapitel 2.2.2). Hierbei wurde die Wichtigkeit von Modellen der Informationsverarbeitung und von Handlungsmodellen herausgearbeitet - diese beiden Modellarten sind hinsichtlich des theoretischen Verhaltens eines Fahrzeugführers entscheidend. Es konnte in den Modellen festgestellt werden, dass es unterschiedliche Verhaltensphasen gibt, die aus theoretischer Sicht durchlaufen werden - zu diesen sollte es möglich sein, typisches Verhalten zu ermitteln. Da es in der Zielsetzung dieser Arbeit (siehe Kapitel 1.2) um die Beschreibung und Modellierung des Fahrerverhaltens geht, wurden auch wichtige Messgrößen des Fahrerverhaltens genannt und beschrieben (Kapitel 2.2.3). In Kapitel 2.2.4 wurden schließlich Details zur Thematik der Fahrerintention bzw. der Vorhersage des Fahrerverhaltens erläutert. Zusammenfassend konnte in Kapitel 2.2 aufgezeigt werden, wie komplex das Verhalten eines Fahrzeugführers ist. Das Kapitel 2.3 beschäftigte sich mit einer Übersicht zu Fahrmanövern und schaffte damit eine Basis für die Einteilung des Gesamtverhaltens in kleinere Einheiten bzgl. Analyse oder Betrachtung. Zudem kann die Übersicht zu Fahrmanövern genutzt werden, wenn Anwendungsfälle ausgewählt werden sollen. Im Kapitel zu fahreradaptiven Assistenzsystemen (Kapitel 2.4) wurde dargelegt, dass es bereits Systeme gibt, die den Fahrer und sein Verhalten als Eingangsgröße mit einbeziehen. Bezogen auf die Prämisse den Fahrer bei Assistenzsystemen jedoch noch stärker zu beachten (vgl. Kapitel 1.1), kann jedoch resümiert werden, dass bei der Adaption der Systeme an den Fahrer noch viel Potential vorhanden ist. Analyseansätze des Fahrerverhaltens wurden in Kapitel 2.5 erläutert. Dabei zeigte sich ein deutliches Übergewicht von Aufgabenanalysen. Hingegen herrscht gemäß Walker et al. (2015) eine „überraschende Wissenslücke“ hinsichtlich Methoden, die beschreiben können, welche Aktivitäten von Fahrern während der Fahrzeugführung tatsächlich ausgeführt werden. Weiterhin gäbe es zwar ein Wissensgrundgerüst bzgl. Fahrzeugreaktionen auf Fahrereingaben, jedoch sei nur wenig Wissen vorhanden, was Fahrer wirklich tun. Die Aufgabenanalysen fokussieren zudem ein idealtypisches Verhalten - eine allgemeingültige Übersicht zu möglichem Fahrerverhalten bzw. dazu, was der Fahrer wirklich macht, konnte nicht identifiziert werden. Auch wenn gemäß Frei (1981), zitiert nach Ulich (1991), resümiert werden kann, dass es keine allgemeingültige Methode zur Analyse von „Arbeit“ geben kann, sondern, dass es jeweils notwendig ist, anwendungsspezifisch erforderliche Parameter zu formulieren, ist es erstrebenswert, eine eben derart spezifische Methode zum Verhalten eines Fahrzeugführers zu schaffen, um die Entwicklung von FAS unterstützen zu können (vgl. Kapitel 1.1). Bär et al. (2012) bezeichnen die „formale Beschreibung des Fahrerverhaltens“ als eine „zentrale Herausforderung bei der fahreradaptiven Anpassung von FAS“. Die vorhandenen und in Kapitel 2.5 beschriebenen Methoden können zwar als Grundlage für eine allgemeingültige Beschreibungsmethode angesehen werden, jedoch gibt es bspw. hinsichtlich des Detailgrads, mit dem das Verhalten des Fahrers beschrieben wird, keine passende Methode zur Bestrebung, Aktivitäten mit samt Unterschieden in gewissen Eigenschaften (z.B. die Lenkradwinkelgeschwindigkeit bei einer Lenkaktivität) zu betrachten. Des Weiteren sind vorhandene Lösungen mit Verfahren des maschinellen Lernens teilweise schlecht nachvollziehbar und helfen nicht bei der Schaffung eines besseren Verständnisses des Fahrers und seines Verhaltens (vgl. Kapitel 2.2.4).

Als Resümee kann festgehalten werden, dass es aktuell keine Methode für die Zielsetzung einer detaillierten Beschreibung des Verhaltens von Fahrern auf Basis von Aktivitäten gibt und dass daher

eine entsprechende Methode zu entwickeln ist. Mit dieser Methode werden daraufhin eine Analyse von Aktivitäten und die Ermittlung von Mustern in den Aktivitäten möglich. Aus den Erkenntnissen, die mit dieser Methode zu gewinnen sind, können in Entwicklungen von FAS wichtige neue Erkenntnisse einfließen, wodurch bspw. dem Problem des Warndilemmas (Fecher und Hoffmann (2015), siehe auch Kapitel 1.1) von theoretischer Seite besser begegnet werden kann.

Auf dem Zwischenfazit aufbauend und passend zur identifizierten Forschungslücke werden folgende drei **Forschungsfragen** aufgestellt:

Forschungsfrage 1

Wie kann Fahrerverhalten auf Basis von Aktivitäten modellhaft beschrieben werden?

Forschungsfrage 2

Welche Aktivitäten eines Fahrzeugführers gibt es, wie können diese beschrieben werden und welcher Detailgrad ist dabei sinnvoll?

Forschungsfrage 3

Gibt es charakteristische Aktivitäten vor bzw. während einer Manöverausführung und können diese unterschiedlichen Phasen des Fahrerverhaltens zugerechnet werden?

Auf dem Weg zur Beantwortung der Forschungsfragen bedarf es mehrerer Schritte. Bezogen auf **Forschungsfrage 1** ist es sinnvoll auf Basis der in Kapitel 2.2.2 dargestellten Modelle ein passendes Fahrerverhaltensmodell abzuleiten und hinsichtlich der Erstellung einer Sammlung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers erste grundlegende Überlegungen anzustellen, wobei die Erkenntnisse aus Kapitel 2.5 einfließen sollten. Dazu bedarf es der Identifikation von möglichen Ansätzen, wie Aktivitäten eines Fahrzeugführers gruppiert werden können. In Kombination mit **Forschungsfrage 2** gilt es daraufhin eine Beschreibungsmethode zu entwickeln, in der möglichst alle relevanten Aktivitäten mit einem passenden Detailgrad integriert werden können. Ein erster Schritt dazu ist es, eine passende Sammlung der relevanten Aktivitäten zu erstellen und die Beschreibungsmethode zu konzipieren. Die Konzeption umfasst dabei sowohl strukturelle Aspekte als auch eine Vorgehensbeschreibung zur Anwendung und die Definition von Regeln und Rahmenbedingungen. Das Vorgehen zur Anwendung der Methode sollte nach Möglichkeit eine Abfolge relativ klar definierter Schritte umfassen, da eine Standardisierung des Vorgehens hinsichtlich möglichst gut vergleichbarer Ergebnisse, aber auch hinsichtlich der Vorbeugung einer fehlerhaften Anwendung zuträglich ist. Zusätzlich erscheint es sinnvoll, bezogen auf die Nutzung der Methode, eine Möglichkeit vorzusehen, wie die Aktivitäten veranschaulicht werden können, sodass eine Visualisierung entwickelt werden sollte. Bezüglich des Detailgrads der Methode muss ein aus theoretischer Sicht passender ausgewählt werden, welcher in einem späteren Schritt getestet werden muss. Im Rahmen dieses Tests, der in Form einer beispielhaften Anwendung der Methode durchgeführt werden sollte, kann neben dem Detailgrad die eigentliche Methode inkl. Vorgehen und die entwickelte Visualisierung überprüft werden, sodass Stärken und Schwächen identifiziert werden können bzw. die grundsätzliche Eignung der Methode überprüft werden kann. Zudem bedarf es zur Beantwortung der **Forschungsfrage 3** einer Durchführung der Methode zu mindestens einem beispielhaften Manöver, um charakteristische Aktivitäten zu diesem Manöver zu finden und diese unterschiedlichen Phasen des Fahrerverhaltens im Manöver zuordnen zu können. In Kapitel 1.2 wurde dazu festgelegt, dass das Manöver des Fahrstreifenwechsels betrachtet werden soll. Im Sinne guter Wissenschaftlichkeit gilt es die zur beispielhaften Anwendung zugehörigen Auswertungen auf Hypothesen zu stützen, die auf Literaturerkenntnissen zum Fahrerverhalten zum Beispielmanöver beruhen. Zur beispielhaften Anwendung der Methode können passend zu den Inhalten aus Forschungsfrage 3 folgende Ziele definiert werden:

- Ermittlung charakteristischer Aktivitäten des Beispielmanövers
- Ermittlung des zeitlichen Bezugs von Aktivitäten oder Aktivitätssequenzen zueinander bzw. bezogen auf den Manöverbeginn, um diese verschiedenen Verhaltensphasen zuordnen zu können

Nachdem diese Ziele über die passend aufgestellten Hypothesen angegangen wurden und damit die beispielhafte Anwendung beendet werden kann, können die Schritte und Analysen, die im Rahmen der Anwendung durchgeführt wurden, diskutiert werden. Die Ergebnisse, die in der beispielhaften Anwendung erzielt wurden und die ermittelten Limitation oder Verbesserungspotentiale können für die übergeordnete Diskussion, die auf die gesamte Arbeit abzielt und dort primär die entwickelte Methode thematisiert, genutzt werden. Abbildung 8 fasst das beschriebene Vorgehen auf dem Weg zur Beantwortung der Forschungsfragen zusammen.

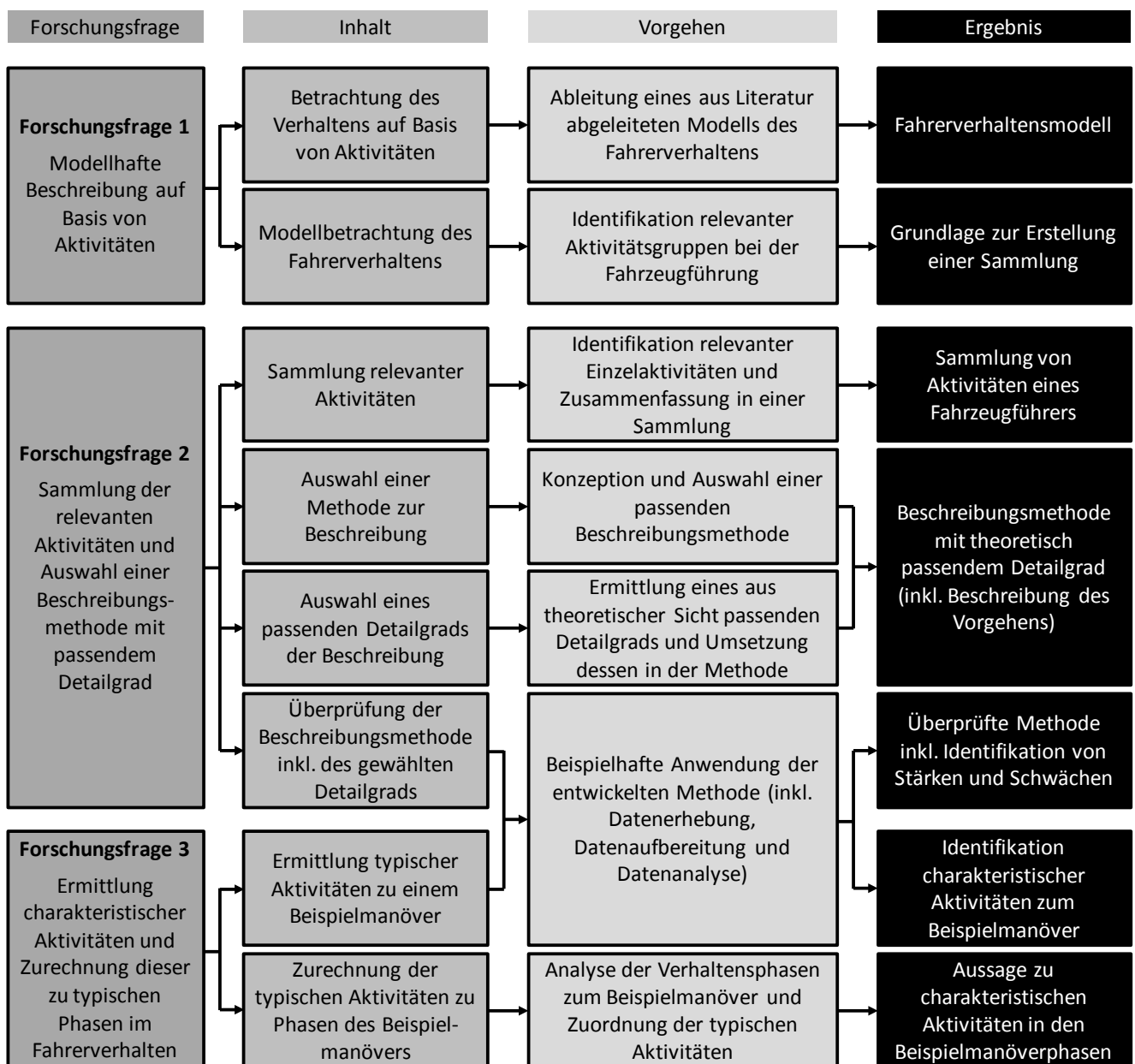


Abbildung 8: Übersicht zu den aufgestellten Forschungsfragen und deren Inhalten, dem Vorgehen im Rahmen der Beantwortung und den Ergebnisse der einzelnen Vorgehensschritte

3. Methodik der Aktivitätsanalyse

Kapitel 3 beschäftigt sich mit der Methodik der Aktivitätsanalyse. Dabei wird in einem ersten Schritt das sogenannte phasenorientierte Fahrerverhaltensmodell beschrieben, welches im Rahmen dieser Arbeit aus einem Modell der Informationsverarbeitung und einem Handlungsmodell (vgl. Kapitel 2.2.2) abgeleitet wurde (Kapitel 3.1). In Kapitel 3.2 werden danach Details zur Beschreibungsmethode bzgl. Aktivitäten eines Fahrzeugführers genannt, bevor in Kapitel 3.3 die Vorgehensweise bei der Anwendung der Aktivitätsanalyse erläutert wird. In Kapitel 3.4 wird danach ein Fazit zur Methodik der Aktivitätsanalyse gegeben.

3.1. Phasenorientiertes Fahrerverhaltensmodell

Ausgehend vom Stand der Forschung zum Fahrerverhalten (Kapitel 2.2) und dort insbesondere zu relevanten Modellen (Kapitel 2.2.2) wird nachfolgend das *phasenorientierte Fahrerverhaltensmodell* erläutert. Ziel der Ableitung des Modells ist es, eine Struktur der wichtigen Phasen bei der Planung und Durchführung von Fahrmanövern zu erhalten und die relevanten Einflussfaktoren auf die Planung und Durchführung zu identifizieren.

Das *Rubikon-Modell* von Heckhausen und Gollwitzer (1987), welches in Kapitel 2.2.2 erläutert wird, bildet mit seiner Berücksichtigung der Intentionsbildung die Hauptgrundlage des Fahrerverhaltensmodells. Betrachtet man die vier Phasen Vorentscheidung (oder auch Intentionsbildung), Vorhandlung (oder auch Handlungsplan), Handlung (oder auch flexible Reaktion) und Nachhandlung (oder auch Bewertung) und rechnet mit ein, dass zwischen der Phase der Vorentscheidung und der Vorhandlung eine Entscheidung getroffen wird, können starke Parallelen zum *Modell der menschlichen Informationsverarbeitung* nach Luczak (1975) (siehe Abbildung 2 bzw. Kapitel 2.2.2) gefunden werden. Während das Rubikon-Modell *interne* Faktoren wie Wünsche und Ziele als Eingangsgröße zur Vorentscheidung beschreibt, werden im Modell der menschlichen Informationsverarbeitung durch die Wahrnehmung mit den Phasen Entdecken und Erkennen eher *externe* Faktoren für die Entscheidungsfindung berücksichtigt. Das Rubikon-Modell kann im Vergleich zum Informationsverarbeitungsmodell durch das Vorhandensein der Phasen Vorhandlung, Handlung und Nachhandlung ein sehr hoher Detailgrad bzgl. der Ausführung der getroffenen Entscheidung zugesprochen werden. Die Integration der Vorhandlungsphase, in der ein Handlungsplan erstellt wird und die Tatsache, dass die Handlung auch als flexible Reaktion bezeichnet wird, zeigt, dass trotz einer getroffenen Entscheidung der weitere Weg bezogen auf die Handlung nicht automatisch fest vorgegeben sein muss. Abbildung 9 zeigt die Zusammenführung der beiden Modelle. Die dargestellten parallelen Abläufe zeigen, wie auf der einen Seite externe Reize und auf der anderen Seite interne Wünsche und Ziele als Ausgangspunkt für ein Handeln stehen können. Im oberen Ablauf wurde die Rückführung der Reaktion in das Gedächtnis ergänzt und es wurden weitere Verknüpfungen zwischen den parallelen Phasen über das Gedächtnis hinzugefügt, da das Gedächtnis mit den darin enthaltenen Erfahrungen auch bei den Schritten, die durch interne Wünsche und Ziele ausgelöst werden, relevant ist.

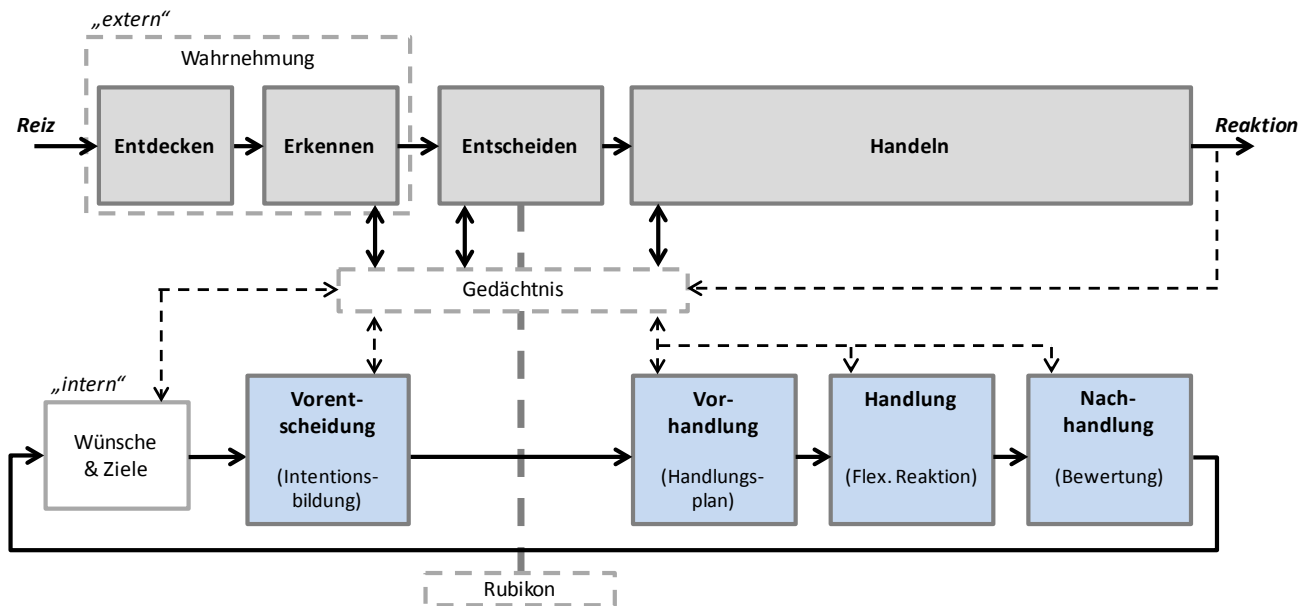


Abbildung 9: Zusammenführung der Modelle von Heckhausen und Gollwitzer (1987) und Luczak (1975)

Alle bisher dargestellten Modellaspekte beschreiben den Menschen und im Sinne dieser Arbeit den Fahrzeugführer. Gemäß Donges (1982) oder auch Schneider (2009) ist es wichtig neben dem Fahrer auch Aspekte des *Fahrzeugs* und der *Umwelt* zu berücksichtigen, wenn Fahrerverhalten beschrieben werden soll (vgl. auch Kapitel 2.2.1). So kann zusammenfassend genannt werden, dass bspw. die Ausstattung des Fahrzeugs Einfluss auf den Fahrer und sein Verhalten mit dem Fahrzeug haben kann. Verfügt das Fahrzeug z.B. über einen Abstandsregeltempomaten (engl. Adaptive Cruise Control, ACC) übernimmt das Fahrzeug die Längsführung auf der Autobahn und der Fahrer kann sein Verhalten anpassen, da er seine Konzentration stärker auf die weiteren Aspekte der Fahrzeugführung legen kann. Selbstverständlich hat auch die Umwelt einen Einfluss auf den Fahrer und sein Verhalten. So ist erhöhte Vorsicht geboten, wenn ein Einfluss des Wetters, wie bspw. Nebel vorhanden ist oder wenn ein hohes Verkehrsaufkommen vorliegt. Glatteis kann als ein Beispiel genannt werden, bei dem die Umwelt Einfluss auf das Fahrzeug nimmt, was wiederum jedoch auch den Fahrer betrifft. Als letzter Schritt bei der Entwicklung des phasenorientierten Fahrerverhaltensmodells wird die Berücksichtigung der Faktoren Konstitution, Disposition, Qualifikation bzw. Kompetenz und Anpassung gemäß Schlick et al. (2010) in Anlehnung an Luczak (1989) vorgesehen (vgl. auch Kapitel 2.2.1). Somit ergibt sich das in Abbildung 10 dargestellte Modell.

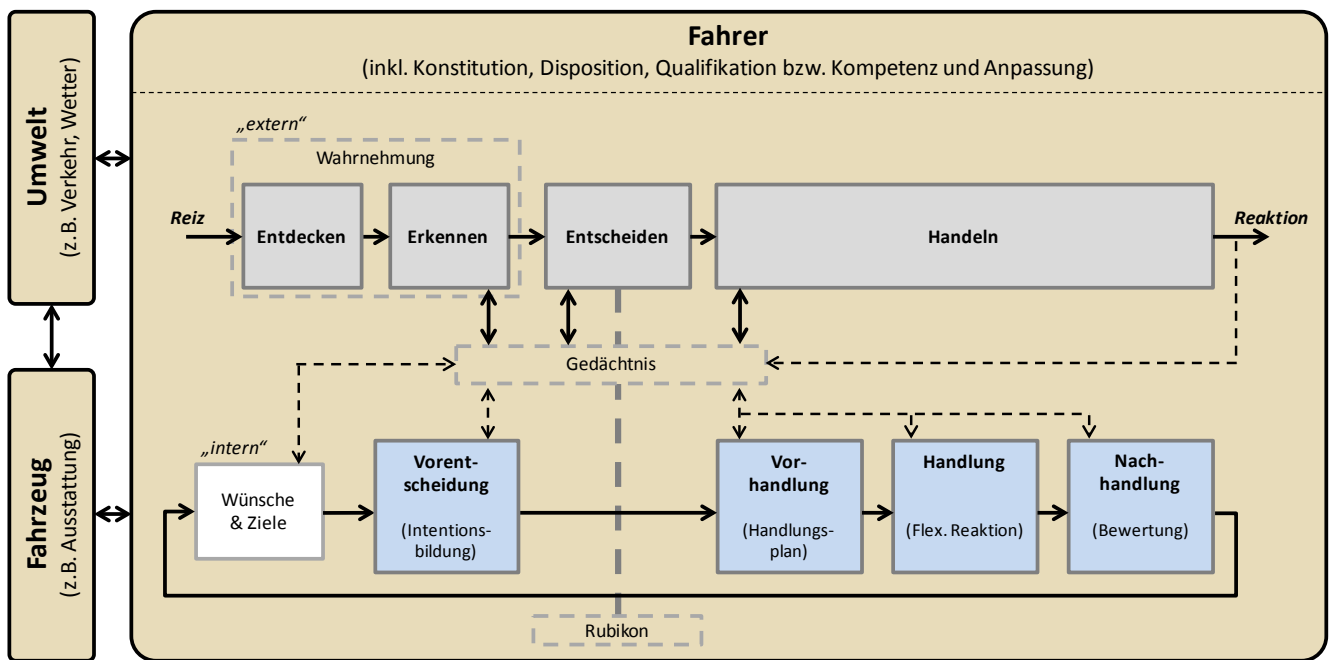


Abbildung 10: Phasenorientiertes Fahrerhaltensmodell unter Berücksichtigung von Heckhausen und Gollwitzer (1987), Luczak (1975), Donges (1982) und Schlick et al. (2010) in Anlehnung an Luczak (1989)

Das Modell ermöglicht es Ursachen für gezeigtes Verhalten zu betrachten und bietet zudem die Möglichkeit Aktivitätssequenzen dahingehend zu analysieren, zu welcher Informationsverarbeitungs- bzw. Handlungsmodellphase die Aktivitäten gehören können. Die Analyse der Phasenzugehörigkeit wird in Kapitel 5.1.2 erneut aufgegriffen.

Generell kann zusammengefasst werden, dass mit dem entwickelten Modell eine theoriebasierte Vorstellung des Fahrerhaltens geschaffen wurde, die im weiteren Verlauf der Arbeit innerhalb der Aktivitätsanalyse und zur Einordnung identifizierter Aktivitäten bzw. Aktivitätssequenzen genutzt werden kann.

3.2. Beschreibungsmethode zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers

In Kapitel 3.2 wird die, für diese Arbeit sehr zentrale Methodik zur Beschreibung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers hergeleitet. Dazu werden in Kapitel 3.2.1 Anforderungen an die Methode genannt. Kapitel 3.2.2 handelt von der entwickelten Methode zur Beschreibung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers. Kapitel 3.2.3 ergänzt eine grundlegende Visualisierungsmethode zu den Aktivitäten. An dieser Stelle soll zudem noch der Geltungsbereich der Beschreibungsmethode gegeben werden. Die Methode ist zur Beschreibung des Verhaltens eines Fahrzeugführers in einem Personenkraftwagen (PKW) geeignet. Die Übertragbarkeit auf weitere Fortbewegungsmittel, wie ein Motorrad/Kraftrad oder einen Lastkraftwagen (LKW) ist nur bedingt gegeben. Bezüglich der Ausstattung des PKW, in denen sich der Fahrer befindet, wird davon ausgegangen, dass keine speziellen Sonderausstattungen bzw. Funktionen (z.B. Schaltwippen am Lenkrad, besondere Fahrerassistenzsysteme oder höhere Automatisierungsgrade) im Fahrzeug vorhanden sind. Zudem gelten die Festlegungen hinsichtlich der Inhalte der Beschreibungsmethode teilweise nur für Linklenker und müssten für die Anwendung mit rechtslenkenden PKW angepasst werden. Die genannten Einschränkungen hinsichtlich des Geltungsbereichs werden in Kapitel 5.2 diskutiert.

3.2.1. Anforderungen an die Beschreibungsmethode

Die zu entwickelnde Beschreibungsmethode sollte gewissen Anforderungen genügen, um einen Mehrwert für die Forschung rund um das Fahrerverhalten zu besitzen. Die Anforderungen zielen

teilweise auf die Beschreibungsmethode und deren bereits in Kapitel 1.2 genannte Allgemeingültigkeit ab, während andere Anforderungen für die zu integrierenden Messgrößen (vgl. Kapitel 2.2.3) und deren Messbarkeit relevant sind. Auch im Hinblick auf die, in der Motivation (siehe Kapitel 1.1) angesprochene, angestrebte Verbesserung von Assistenzsystemen, die bspw. durch einen Algorithmus zur Verhaltensprädiktion erreicht werden kann, werden Anforderungen festgelegt, die im weiteren Verlauf der Entwicklung relevant sind.

Gemäß IEEE (1990) kann eine Anforderung als Bedingung oder auch Fähigkeit bezeichnet werden, die von einem System oder von dessen Komponenten erfüllt werden muss, um eine Spezifikation befriedigen zu können. Typischerweise werden Anforderungen an zu entwickelnde Produkte gestellt - Birkhofer und Bohn (2012) ordnen Anforderungen bzw. die Erstellung einer Anforderungsliste in den Projektdefinitionsprozess (angelehnt an VDI 2221) ein. Anforderungen werden dort auf Grundlage der Aufgabenstellung definiert. Gemäß Lashin (2013) sind in einer Anforderungsliste Produkteigenschaften und -merkmale hinterlegt, die die Basis für die Maßnahmen zur Produktentwicklung darstellen.

Aufgrund der Tatsache, dass in der vorliegenden Arbeit kein Produkt entwickelt wird, muss bei der Anforderungsermittlung abweichend vorgegangen werden. Die zu entwickelnde Methode sollte gewissen allgemeingültigen Anforderungen genügen. Zudem bedarf es Anforderungen an die Messgrößen, die in der Beschreibungsmethode integriert sind, damit die Methode verwendbar ist. Wie in Kapitel 1.2 bzw. Kapitel 2.6 beschrieben, soll mit Hilfe der Beschreibungsmethode bzw. durch Verwendung der Methode die Anpassung der FAS an den Fahrer unterstützt werden. Dies kann über die Entwicklung eines Algorithmus zur Erkennung zukünftigen Fahrerverhaltens geschehen. Dieser mögliche Anwendungszweck sollte bei der Anforderungsermittlung ebenfalls nicht unberücksichtigt bleiben, weshalb nachfolgend wichtige Anforderungen an die Methode, die mit der Methode in Verbindung stehenden Messgrößen und einen möglichen Algorithmus zur Erkennung zukünftigen Fahrerverhaltens ermittelt werden. Die Anforderungsermittlung wurde durch die Abschlussarbeit Fernandes Estrela (2016) unterstützt.

Um der Zielsetzung einer hohen Allgemeingültigkeit nahe zu kommen, bedarf es einer **Beschreibungsmethode** die nach Möglichkeit vollständig alle denkbaren Aktivitäten des Fahrzeugführers abdeckt. In Kapitel 2.5 wurden vorhandene Methoden vorgestellt und diskutiert. Den betrachteten Methoden konnte keine Allgemeingültigkeit und auch keine Vollständigkeit nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 2.6). Um einen Mehrwert mit der zu entwickelnden Methode liefern zu können, wird daher die *Vollständigkeit* der Methode als erste Anforderung genannt. Mit der Vollständigkeit einher geht die Anforderung an den *Detailgrad* der Methode. Der Detailgrad muss so hoch sein, dass alle relevanten Aktivitäten abgedeckt sind. Auf der anderen Seite ist es aber nicht zielführend auf Basis dieser Forderung alle erdenklichen Aspekte in die Methode zu integrieren, da bei einem zu hohen Detailgrad auch negative Folgen entstehen. Steigt der Detailgrad zu sehr an, so wird die Methode auch immer komplexer. Die *Komplexität* der Methode ist demnach ebenfalls relevant. Somit ist ein Kompromiss aus Detailgrad und Komplexität zu suchen. Durch eine zu stark steigende Komplexität würde zudem die *Handhabbarkeit* oder auch *Anwendbarkeit* der Methode sinken (vgl. Anforderung der Aufgabenangemessenheit aus DIN EN ISO 9241-110). Dies würde der Zielsetzung einer Methodenentwicklung jedoch in gewisser Weise widersprechen - ohne passende Handhabbarkeit bzw. Anwendbarkeit muss eine Methode grundsätzlich als ungeeignet bezeichnet werden. Weiterhin wichtig für die Methode ist eine grundsätzlich gegebene *Einheitlichkeit* hinsichtlich der Struktur der Beschreibungsmethode, der gewählten Begriffe und dem Vorgehen bei der Anwendung. Ohne Beachtung der Einheitlichkeit wird die Handhabbarkeit bzw. Anwendbarkeit negativ beeinflusst. Die Begrifflichkeiten, aber auch das Vorgehen bei der Methodenanwendung ist demnach einheitlich und gut nachvollziehbar zu gestalten. Neben der begrifflichen Einheitlichkeit spielt auch die generelle *Terminologie* der Methode eine wichtige Rolle (vgl. Anforderung der Selbstbeschreibungsfähigkeit bzw. Erwartungskonformität aus DIN EN ISO 9241-110). Ist diese nicht passend gewählt oder nicht dem üblichen Gebrauch entsprechend, ist die Methode nicht geeignet und würde keine Anwendung finden. In diesem Zusammenhang gilt es zudem die *Spezifizität* (oder auch *Unterscheidbarkeit*) als Anforderung an die Methode zu nennen.

Neben den zuvor genannten Anforderungen an die Beschreibungsmethode an sich, gilt es auch bzgl. der **Messgrößen**, die in der Methode verwendet werden, eine Betrachtung der Anforderungen durchzuführen, da über diese das Verhalten des Fahrers abgeleitet wird. Es bleibt festzuhalten, dass nur eine passende Auswahl der Messgrößen, die zur Methodenanwendung nötig sind, die Schaffung einer handhabbaren Methode ermöglicht. Demnach gilt es die möglichen Messgrößen hinsichtlich ihrer *Relevanz* bzw. *Aussagekraft* zu beurteilen (vgl. Berndt et al. (2008)). Sollten alle denkbaren Messgrößen integriert werden, würde die Handhabbarkeit sinken, da die Komplexität der Methode unnötig erhöht würde. Dies könnte bei sehr geringer Aussagekraft einiger Messgrößen zudem ohne wirklichen Mehrwert in der Methode geschehen und sollte demnach definitiv vermieden werden. Selbstverständlich sollten die verwendeten Messgrößen bzgl. ihrer *Validität* beurteilt werden (vgl. Blaschke et al. (2007)). Ebenfalls wichtig ist es, dass zu den vorgesehenen Messgrößen eine ausreichend gute *Messbarkeit* vorliegt. Auch wenn heutige Sensoren in der Entwicklung bereits sehr fortgeschritten sind, gibt es immer noch Messgrößen, die nicht ohne weiteres messbar sind. Dies kann u.a. an dem hohen Aufwand der Messung liegen. Teilweise sind Messmethoden intrusiv, d.h. dass keine berührungslose Messung möglich ist. Für einen Serieneinsatz ist dies undenkbar. Als Beispiel hierzu kann angeführt werden, dass eine Erkennung von Müdigkeit beim Autofahren über physiologische Messwerte zwar möglich wäre (vgl. Langer et al. (2015a)), die Messmethoden jedoch meist nicht berührungslos und daher für einen Einsatz im Fahrzeug nicht geeignet sind (vgl. auch Karrer-Gauß (2012)). Hinsichtlich einer Verhaltensvorhersage könnte eine Messung der Gehirnaktivität einen Mehrwert bieten - durch die Probleme hinsichtlich der Messbarkeit ist die Nutzung jedoch aktuell nicht möglich. Selbst wenn eine grundsätzliche Messbarkeit gegeben ist, muss die Messgröße noch nicht für eine Integration in die zu entwickelnde Methode der Fahrerhaltensanalyse eingebunden werden. Ein möglicher Grund für den Ausschluss einer Messgröße kann in der *Zuverlässigkeit* der Messung gefunden werden. Nur wenn die Messgrößen ohne größere Probleme hinsichtlich Messfehlern oder Messaussetzern erhoben werden kann, ist sie für die Methode geeignet. Bereits bei der Messbarkeit wurde die Wichtigkeit der *Serienreife*, mit der die Messgröße erhoben werden kann, angedeutet. Auch wenn primär eine Forschungsmethode entwickelt wird, sollte die Möglichkeit eines Serieneinsatzes (Zeithorizont ca. 5-10 Jahre) nicht aus den Augen verloren gehen. Auch die *Frühzeitigkeit* der Messgröße für eine Prädiktion des Verhaltens (bspw. des nächsten geplanten Manövers) ist zu beachten (vgl. Blaschke et al. (2007), Kopf (2005)), da die Verhaltensprädiktion viele Vorteile bringen kann und in aktueller Forschung einen hohen Stellenwert besitzt (vgl. Bengler et al. (2014) bzw. Kapitel 2.2.4). Kann über die Messgröße die Fahrerintention oder Fahrerabsicht nicht mit ausreichender Frühzeitigkeit ermittelt oder zumindest abgeschätzt werden, kann kein Mehrwert für ein Assistenzsystem gewonnen werden (vgl. Habenicht (2012)).

Betrachtet man die mögliche Anwendung der Beschreibungsmethode hin zu einem **Algorithmus** (z.B. mit Maschinenlernverfahren, vgl. Kapitel 1.1 bzw. Kapitel 2.2.4) können weitere Anforderungen formuliert werden. Für die Anwendung eines Algorithmus ist es entscheidend, dass der Algorithmus über eine ausreichende *Echtzeitfähigkeit* verfügt (vgl. Heine et al. (2015)). Andersfalls ist eine Verwendung der Ergebnisse aus der Berechnung des Algorithmus im Serienbetrieb eines Fahrzeugs nicht denkbar. Es bleibt festzuhalten, dass die Echtzeitfähigkeit selbstverständlich mit der Komplexität zusammenhängt. Diese wird wie zuvor beschrieben auch vom Detailgrad der Methode beeinflusst. Hier kann ebenfalls erneut betont werden, dass aus Gründen der Echtzeitfähigkeit nur relevante Messgrößen vorgesehen werden sollten. Sollte der Algorithmus hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit an seine Grenzen geraten, sollte über eine Priorisierung der besonders relevanten Eingangsgrößen nachgedacht werden. Die Methode sollte zudem so aufgebaut sein, dass eine rechnergestützte *Verarbeitbarkeit* gegeben ist. Nur dann kann ein passender Algorithmus entwickelt werden. Die wichtigsten direkten Anforderungen an den Algorithmus sind in der *Erkennungsrate* (Rate der sog. „true positive“-Fälle) und in der *Fehlertoleranz* (bezogen auf Falsch- oder Fehldetektionen, sog. „false positive“-Fälle) zu finden (vgl. Blaschke et al. (2007), aber auch Langer et al. (2015a)).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass relevante Anforderungen an die Methode aufgestellt wurden. Diese werden bei der Entwicklung immer wieder Beachtung finden und werden

auch bei Zwischenschritten immer wieder für eine Bewertung der Methode herangezogen. Tabelle 9 zeigt die in diesem Kapitel aufgestellten Anforderungen an die zu entwickelnde Methode mit der Unterteilung in Anforderungen an die Methode an sich, an die Messgrößen, die zu integrieren sind, um das Verhalten beschreiben zu können und an einen Algorithmus, der u.U. auf Basis der Methode entwickelt werden kann.

Tabelle 9: Übersicht der relevanten Anforderungen an die Methode an sich, die Messgrößen und hinsichtlich eines möglichen Algorithmus

Methode	Messgrößen	Algorithmus
<ul style="list-style-type: none"> • Vollständigkeit • Detailgrad • Komplexität • Handhab-/Anwendbarkeit • Terminologie fachlich korrekt • Einheitlichkeit • Spezifität/Unterscheidbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Relevanz/Aussagekraft • Validität • Messbarkeit • Zuverlässigkeit • Serienreife • Frühzeitigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Echtzeitfähigkeit • Verarbeitbarkeit • Erkennungsrate • Fehlertoleranz (Falsch-/Fehlalarm)

3.2.2. Katalog zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers

Auf Basis der Ergebnisse, dass es keine passende allgemeingültige Methode zur Beschreibung der Aktivitäten eines Fahrzeugführers gibt (vgl. Kapitel 2.6) und aufbauend auf den in Kapitel 3.2.1 aufgestellten Anforderungen an die Methode bzw. die Messgrößen und den möglicherweise angeschlossenen Algorithmus wird die Methode entwickelt.

Während die betrachteten Ansätze aus Kapitel 2.5 typischerweise auf gewisse Fahraufgaben oder Fahrmanöver abzielen, soll die zu entwickelnde Methode allgemeingültig das gesamte Fahrerverhalten unabhängig spezieller Situationen oder Fahrmanöver beschreibbar machen. Daher ist die Methode grundsätzlich losgelöst von Fahrmanövern oder spezifischen Fahraufgaben zu sehen. Viel mehr erscheint eine Methode sinnvoll, die das gesamte Verhalten in Form von Aktivitäten (vgl. Kapitel 2.1) beschreibbar macht.

Angelehnt an die Analysemethoden (Kapitel 2.5) aber auch begründet mit Anforderungen wie bspw. der Handhabbarkeit, der Einheitlichkeit, aber auch der weiteren Verarbeitbarkeit (vgl. Kapitel 3.2.1) und der Tatsache, dass das Fahrerverhalten sehr vielschichtig und komplex ist, ist eine klare Struktur der Methode nötig. Der Ansatz der strukturierten Sammlung der relevanten Informationen zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers soll im Folgenden als **Katalog** bezeichnet werden.

Die Entwicklung der Methode wurde durch die studentischen Abschlussarbeiten Holzheimer (2014) und Fernandes Estrela (2016) unterstützt. Die Ergebnisse einer ersten Iterationsschleife wurden bereits in Langer et al. (2015b) veröffentlicht, weshalb hiermit auch auf diese Quelle verwiesen wird.

Mögliche Strukturierungsansätze des Katalogs nach bspw. dem verwendeten Körperteil (Hand, Fuß, Auge etc.), der Wichtigkeit oder der Häufigkeit einer Aktivität werden verworfen, da nicht alle angedachten Inhalte in eine entsprechende Struktur passen. Vielmehr erscheint es sinnvoll eine Strukturierung der verschiedenen Aktivitäten durchzuführen, die auf Modellen oder Ansätzen beruht, die bereits in dieser Arbeit erläutert wurden (siehe Kapitel 2). So können für eine erste Unterteilung die vier Schritte der menschlichen Informationsverarbeitung nach Luczak (1975) herangezogen werden (siehe Kapitel 2.2.2). Die Informationsaufnahme (Entdecken und Erkennen von relevanten Informationen) geschieht bei der Fahrzeugführung gemäß Rockwell (1972) hauptsächlich über den visuellen Sinneskanal. Auch wenn andere Sinnesorgane bei der Fahrzeugführung relevant sind (bspw. der auditive), werden diese bei der Betrachtung der Aktivitäten eines Fahrzeugführers nicht berücksichtigt. Der Hauptgrund für diesen Schritt ist, dass die Messbarkeit der Informationsaufnahme

über den auditiven Kanal nicht ohne weiteres möglich ist. Es wird demnach festgelegt, dass zur Strukturierung die Aktivitäten der *visuellen Informationsaufnahme* besonders berücksichtigt werden müssen. Die Entscheidungsfindung bzw. Informationsverarbeitung geschieht durch innere Prozesse im Menschen, die nur sehr schwer messbar sind (vgl. Kapitel 2.2.3) und damit auch den Anforderungen aus Kapitel 3.2.1 nicht genügen. Daher werden in dieser Arbeit keine Aktivitäten der Entscheidungsfindung vorgesehen. Die Handlung oder auch analog Informationsabgabe muss wiederum in die Betrachtung integriert werden, da der Mensch an dieser Stelle mit seinem Verhalten über die Ausführung von Handlungen Einfluss auf das Fahrzeug nimmt (vgl. Kapitel 2.2.2 und Abbildung 2). Da die Aktivitäten, die der Handlung am Ende des Modellstrangs zugerechnet werden können, sehr vielschichtig sind, sollten sie einer weiteren Strukturierung unterzogen werden. Angelehnt an Bubb (2002) kann eine Unterteilung in primäre, sekundäre und tertiäre Aufgaben der Fahrzeugführung getätigt werden (vgl. auch Kapitel 2.1). Primäre Aufgaben umfassen Aspekte der *Querführung* und *Längsführung* (vgl. auch Abendroth et al. (2009)). Auch eine Vielzahl der Fahrmanöver kann in diese beiden Klassen unterteilt werden. Zu den sekundären Aufgaben gehören gemäß Bubb (2002) Aufgaben, die zwar „verkehrs- bzw. umweltbedingt anfallen“, jedoch „nicht dem eigentlichen Halten des Fahrzeuges auf der Straße dienen“ (siehe auch Kapitel 2.1). Diese können v.a. bei der *Signalgebung* (z.B. über den Fahrtrichtungsanzeiger) oder aber auch in *Schaltvorgängen* gefunden werden. Weitere Aktivitäten, die größtenteils nur „dem Zufriedenstellen des Komforts-, Unterhaltungs- oder Informationsbedürfnisses dienen“ können nach Bubb (2002) der tertiären Fahraufgabe zugerechnet werden. Zur Sicherstellung der gewünschten Vollständigkeit der Methode (vgl. Kapitel 3.2.1) können diese Aktivitäten zusammen mit weniger relevanten Aktivitäten mit Bezug zur sekundären Fahraufgabe in der Gruppe der *Sonstigen Aktivitäten* zusammengefasst werden. Abbildung 11 verdeutlicht die identifizierten Gruppen von Aktivitäten und zeigt die zugrundeliegende Strukturierung (vgl. auch Langer et al. (2015b)).

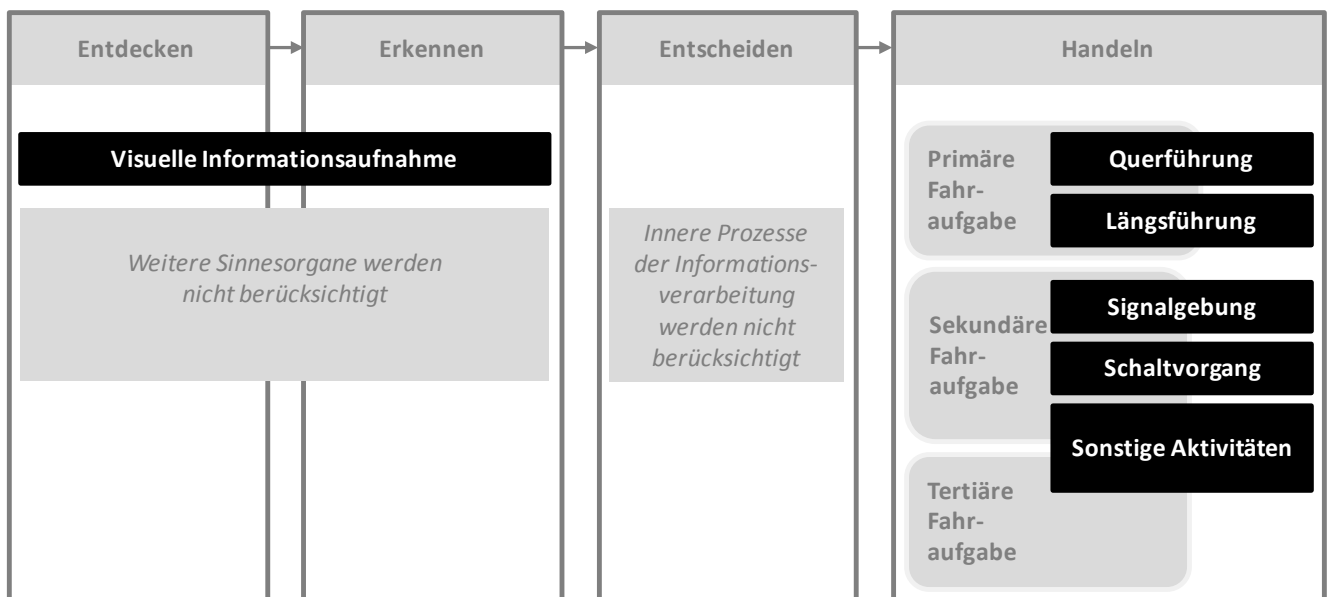


Abbildung 11: Strukturierung bzgl. der identifizierten Gruppen des Katalogs zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers (in Anlehnung an Erkenntnisse aus Luczak (1975) und Bubb (2002))

Den grundsätzlichen Aufbau des Katalogs verdeutlicht Abbildung 11Abbildung 12 (siehe dazu auch Langer et al. (2015b)). Es ist erkennbar, dass die zuvor identifizierten Gruppen im weiteren Verlauf als Katalogklassen bezeichnet werden. In den einzelnen Klassen (z.B. Querführung) werden unterschiedliche Aktivitäten über Eigenschaften (z.B. der aufgebrauchte Lenkradwinkel) und deren Ausprägungen (z.B. einen gewissen Wertebereich des Lenkradwinkels) beschrieben. Sofern eine größere Anzahl und auch unterschiedliche Gruppen von Ausprägungen vorhanden sind, wird eine weitere Untergliederung der Ausprägungen getätigt. Wird dieser Sonderfall vorgesehen, wird dies im weiteren Verlauf der Arbeit im Text hervorgehoben. Eine vollständig beschriebene Aktivität umfasst jeweils eine Ausprägung zu jeder Eigenschaft einer einzelnen Klasse des Katalogs. Um der Anforderung

der Verarbeitbarkeit und Handhabbarkeit (siehe Kapitel 3.2.1) gerecht zu werden, werden die Aktivitäten codiert. Die Katalogklassen und die Eigenschaften werden jeweils mit einem Buchstaben codiert, während die Ausprägungen der Eigenschaften mit einer Nummer codiert werden.

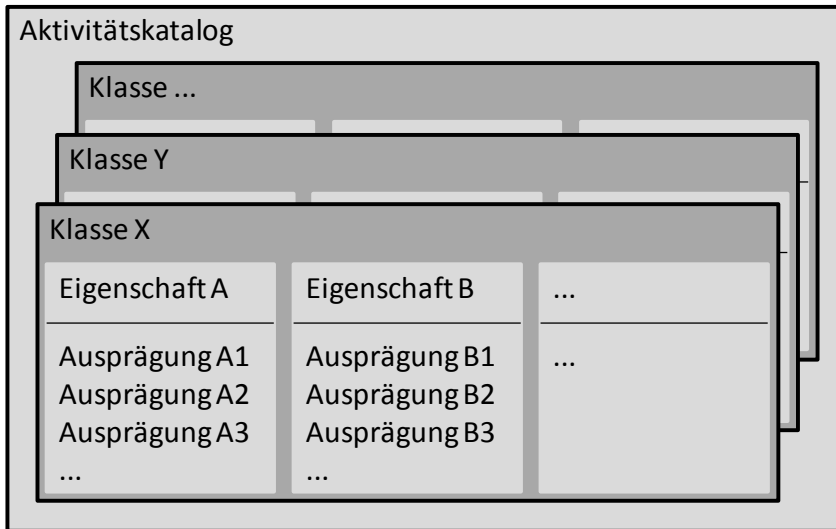


Abbildung 12: Verdeutlichung des grundsätzlichen Aufbaus des Katalogs mit Klassen, Eigenschaften und Ausprägungen

Bei der Beschreibung der Eigenschaften und Ausprägungen der einzelnen Katalogklassen wird - sofern möglich - jeweils auf zugrundeliegende Literaturquellen verwiesen und es fließen Erkenntnisse aus Kapitel 2.5 ein. Da es sich um eine grundsätzlich neue Methode handelt, kann jedoch nicht an jeder Stelle referenziert werden. Konnten generell keine oder auch keine direkt übertragbaren Erkenntnisse aus Forschung oder Technik ermittelt werden, wurde ausgehend von typischen Messgrößen des Fahrerverhaltens (siehe Kapitel 2.2.3) und unter Berücksichtigung der Anforderungen aus Kapitel 3.2.1 eigene Festlegungen zu den Katalogklassen erarbeitet.

Abgeleitet aus der Anforderung, dass der Katalog das Fahrerverhalten vollständig beschreiben soll (vgl. Kapitel 3.2.1), wird bei den Ausprägungen der Eigenschaften jeweils vorgesehen, dass der Wertebereich bis zu einem möglichen *Minimum* oder *Maximum* geht. Zudem wird bei anderen Eigenschaften teilweise die Ausprägungen *keine* oder *Sonstiges* vorgesehen. Für den Fall, dass die relevante Messgröße zur Bestimmung der Eigenschaft nicht verfügbar ist, wird zudem die Ausprägung *Unbekannt* in den Katalog aufgenommen.

Nachfolgend werden die einzelnen Katalogklassen (vgl. Abbildung 11) mit allen Eigenschaften und deren Ausprägungen hergeleitet.

Visuelle Informationsaufnahme (I)

Wie bereits zuvor erwähnt, dominiert der visuelle Sinneskanal bei der Fahrzeugführung (vgl. Rockwell (1972)). Bei der Entwicklung der entsprechenden Katalogklasse zur visuellen Informationsaufnahme wird in einem ersten Schritt analysiert, dass angelehnt an Hammoud und Mulligan (2008) nicht die Augenbewegungen, sondern vielmehr die Fixationen relevant sind. Daher sollen sich die Aktivitäten der Klasse I hauptsächlich mit Fixationen befassen. Zusätzlich gehen Fixationen typischerweise sehr häufig mit einer Kopfbewegung einher (vgl. DETA von McKnight und Adams (1970a)), weshalb auch diese Eigenschaft bei der Betrachtung der visuellen Informationsaufnahme berücksichtigt wird. Kopfbewegungen können in einen horizontalen und vertikalen Anteil unterteilt werden. Während eine *horizontale Kopfdrehung* bspw. bei Fixationen in die Außenspiegel nötig ist, spielt eine *vertikale Kopfneigung* z.B. bei Fixationen der Bedienelemente in der Mittelkonsole eine Rolle. Die damit identifizierten zwei Eigenschaften der Klasse I können in einem ersten Schritt hinsichtlich der Bewegungsrichtung spezifiziert werden. Ausprägungen der Eigenschaft horizontale Kopfdrehung können grundsätzlich in eine Richtung *nach links* und *nach rechts* eingeteilt werden. Es kann zudem vorkommen, dass *keine Drehung* in horizontaler Richtung vorliegt. Gemäß der Anforderung der Einheitlichkeit können auch zur Eigenschaft der vertikalen Kopfneigung die Ausprägungen *nach oben*,

nach unten und keine Neigung festgelegt werden. Neben der Richtung kann eine Drehung auch durch den Drehwinkel beschrieben werden. Bei einem Abbiegemanöver finden beispielsweise Fixationen mit einem hohen Kopfdrehwinkel statt, während bei einer Geradeausfahrt eher nur geringe Winkel auftreten. Gemäß DGUV (2013) ist es anatomisch möglich den Kopf horizontal ohne Zuhilfenahme des Oberkörpers bis zu einem Winkel von 60°-80° zu drehen. Hudelmaier (2003) gibt 72° als maximalen Rotationswinkel des Kopfes an. Da sich beim Fahrzeugführen im seitlichen Randbereich relevante Objekte befinden können, wird der Wert von 80° als oberer Grenzwert der Ausprägungen zur Eigenschaft horizontale Kopfdrehung verwendet. Bezogen auf die vertikale Kopfneigung können gemäß DGUV (2013) Winkel nach oben von 40°-50° und nach unten von 50°-70° erreicht werden. Um die Komplexität der Eigenschaft nicht weiter ansteigen zu lassen, werden die Wertebereiche homogenisiert und 50° werden als Grenzwert der Ausprägungen zur vertikalen Kopfneigung gesetzt. Diem (2005) fand heraus, dass „90% der wesentlichen Objekte aus der Sicht eines Kraftfahrers in einem Blickfeld von $\alpha = \pm 15^\circ$ zur Seite und $\beta = \pm 5^\circ$ nach oben bzw. unten liegen“. Damit ist es naheliegend, dass häufig keine oder nur geringe Kopfdrehungen bzw. -neigungen während der Fahrzeugführung auftreten. Zur Sicherstellung, dass jedoch auch geringere Kopfbewegungen differenziert betrachtet werden können, werden im geringen Winkelbereich ebenfalls Ausprägungen der Kopfdrehungen und -neigung vorgesehen. Angelehnt an den Werten von Diem (2005), aber auch der Aussage von Eysel (2007), dass erst bei Blickamplituden größer 10° Sakkaden von Kopfbewegungen begleitet werden, sofern diese nicht unterdrückt werden, wird festgelegt, dass die untere Grenze der Ausprägung zu Kopfdrehung und -neigung bei 10° liegt. Nach eigener Abschätzung sind Fixationen in die Außenspiegel bzw. Mittelkonsole durch eine horizontale Kopfdrehung bzw. vertikale Kopfneigung von bis zu 35° möglich. Zur weiteren Differenzierung im unteren Drittel des Wertebereichs der Kopfbewegung wird eine Ausprägung von 20° als Grenze gesetzt. Durch die bisherigen Ergebnisse bzw. Festlegungen ergeben sich somit die in Tabelle 10 dargestellten Wertebereiche der horizontalen bzw. vertikalen Winkel, die bis auf die Ausnahme der letzten Winkelgrenze (80° bzw. 50°, siehe Tabelle 10) für beide Eigenschaften aufgrund der angestrebten Einheitlichkeit im Katalog identisch definiert sind. Verglichen zur ersten Iterationsschleife des Katalogs in Langer et al. (2015b) wurden demnach die Kopfbewegungswinkel leicht verändert.

Tabelle 10: Übersicht der Wertebereiche der horizontalen Kopfdrehung bzw. vertikalen Kopfneigung zur Katalogklasse I

Winkel der horizontalen Kopfdrehung [°]	Winkel der vertikalen Kopfneigung [°]
[0;10]	[0;10]
]10;20]	]10;20]
]20;35]	]20;35]
]35;80]	]35;50]
]80;max]	]50;max]
Unbekannt	Unbekannt

Nachdem die Eigenschaften und Ausprägungen der Kopfbewegung beschrieben wurden, können die Fixationen im nächsten Schritt detailliert werden. Angelehnt an DIN EN ISO 15007-1 können „vorbestimmte Gebiete innerhalb der visuellen Szenerie, z.B. ein Rückspiegel“ als Interessensgebiete (engl. area of interest, AOI) beschrieben werden. Als weitere Interessensgebiete werden im Anhang der Norm die vorausliegende Straße, der Innenspiegel, das Clusterinstrument (ugs. häufig auch Tacho genannt), die beiden Außenspiegel und die beiden Seitenfenster genannt. Von Reid et al. (1981) werden hingegen eher Aufmerksamkeitspunkte bezogen auf den Fahrstreifen hinsichtlich des Blickverhaltens analysiert. Dazu gehören bspw. die Fahrstreifenmitten, aber auch die seitlichen Begrenzungen des Fahrstreifens oder die mittlere Fahrstreifenmarkierung. Lethaus et al. (2011) unterscheiden die AOI Frontscheibe, linke Seitenscheibe bzw. linker Außenspiegel, Rückspiegel, Tacho und rechte Seitenscheibe bzw. rechter Außenspiegel. In Schweigert und Bubb (2003) werden folgende Interessensgebiete genannt: Spiegel, Armaturen, Display, Fahrbahn, Fahrzeuge entgegenkommend, Fahrzeuge voraus, Verkehrszeichen und Sonstiges. Bezogen auf diese AOI kann festgestellt werden, dass neben fahrzeugfesten AOI auch bewegliche AOI verwendet werden können. Im Rahmen des

Katalogs sollen beide Möglichkeiten vorgesehen, jedoch nicht vermischt werden. Deshalb wird eine grundlegende Unterscheidung bzgl. der Interessensgebiete in die Eigenschaften *Fixationsraum* (fahrzeugfeste AOI) und *Fixationsobjekt* (bewegliche bzw. veränderliche AOI) vorgenommen. Es muss angemerkt werden, dass nicht alle Messsysteme die Analyse der teilweise beweglichen Fixationsobjekte ermöglichen. Zur Sicherstellung einer hohen Allgemeingültigkeit der Methode werden jedoch beide Eigenschaften vorgesehen. Ausgehend von den AOI, die in DIN EN ISO 15007-1 und von Schweigert und Bubb (2003) genannt sind, werden folgende Fixationsräume festgelegt: *Frontscheibe*, *Seitenscheibe*, *Heckscheibe*, *Spiegel*, *Armaturen* und *Sonstiges* bzw. aufgrund der angestrebten Vollständigkeit der Fixationsraum *Unbekannt*. Tabelle 11 kann entnommen werden, dass vier der genannten Fixationsraum-Ausprägungen nochmals detaillierter in einer weiteren Gliederungsebene unterteilt sind, damit ein höherer Detailgrad mit der Methode dargestellt werden kann. Eine Unterteilung in linke bzw. rechte Seitenscheibe oder die unterschiedlichen Spiegel oder Armaturen sollte jedoch auch bei einem grundsätzlich niedrigeren Detailgrad vorgesehen werden, damit die Informationen über den Fixationsraum nicht zu grob gewählt sind. Die weitere Unterteilung der Ausprägung stellt grundsätzlich jedoch eher einen Sonderfall dar, der im Katalog nur noch an zwei weiteren Stellen vorkommt (bei der Eigenschaft Fixationsobjekt der Klasse I und bei der Eigenschaft Signal der Klasse S).

Tabelle 11: Unterteilung der Ausprägungen zur Eigenschaft Fixationsraum der Katalogklasse I

Frontscheibe	Seitenscheibe	Spiegel	Armaturen
<ul style="list-style-type: none"> • Links oben • Links unten • Mittig oben • Mittig unten • Rechts oben • Rechts unten 	<ul style="list-style-type: none"> • Vordere links • Vordere rechts • Hintere links • Hintere rechts 	<ul style="list-style-type: none"> • Außenspiegel links • Außenspiegel rechts • Innenspiegel 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumententafel • Infotainment

Bezüglich der Fixationsobjekte sind sehr viele Ausprägungen möglich. Dies kann die Komplexität des Katalogs und damit auch die Handhabbarkeit jedoch negativ beeinflussen. In einer ersten Ebene werden folgende Ausprägungen der Eigenschaft Fixationsobjekt definiert: *Fahrbahn*, *Verkehrsteilnehmer*, *Verkehrszeichen*, *Hindernis*, *Tacho*, *Display*, *Sonstiges* und *Unbekannt*. Die Ausprägungen *Fahrbahn* und *Verkehrsteilnehmer* können in einer weiteren Gliederungsebene detaillierter unterteilt werden. Die finale Unterteilung kann Abbildung 13 entnommen werden. Als letzte Eigenschaft der Katalogklasse I wird die *Aktivitätsdauer* vorgesehen. Die Aktivitätsdauer beschreibt generell wie lange die jeweilige Aktivität durchgeführt wird und wird in jeder Katalogklasse vorgesehen. Die Ausprägungen der Eigenschaft unterscheiden sich aber zwischen den unterschiedlichen Katalogklassen. Im Fall der Katalogklasse I kann die Aktivitätsdauer mit der Fixationsdauer gleichgesetzt werden, sofern nicht Kopfdrehungen ohne Bezug zu einer Fixation betrachtet werden sollen. Die Fixationsdauer kann gemäß Bulling et al. (2009) als Zeit zwischen zwei Sakkaden beschrieben werden, während der sich die Augen nahezu nicht bewegen (vgl. DIN EN ISO 15007-1). Während Fixationen werden im Gegensatz zu Sakkaden visuelle Informationen aufgenommen (vgl. Hammoud und Mulligan (2008)). Zur Herleitung der Ausprägungen der Eigenschaft Fixationsdauer werden nachfolgend einige typische Werte aus der Literatur betrachtet. Die Untersuchung von Lethaus et al. (2011) nennt bezogen auf einem Fahrstreifenwechsel Fixationsdauern von ca. 0,5s bis zu etwa 2,7s Länge. Wierwille (1993) stellt hingegen fest, dass Fixationsdauern auf Blickziele im Fahrzeug im Durchschnitt eine Dauer zwischen 0,6s und 1,6s haben. Es ist zu erwarten, dass kurze Fixationen zur Kontrolle bspw. der Geschwindigkeit auch eine kürzere Dauer haben können. Dies bestätigen Karsh und Breitenbach (1983) bzw. DIN EN ISO 15007-1, indem bezogen auf individuelle Fixationen Dauern zwischen 0,1s und 2s genannt werden. Lindsay und Norman (1972) geben an, dass eine Mindestdarbietungszeit von 0,15s bis 0,25s nötig ist, um ein Sehobjekt erkennen

zu können (siehe auch Bubb (2015a)). Für die Ausprägungen zur Aktivitätsdauer wird 0,2s als erster Grenzwert festgelegt, um kürzeste Fixationen, bei denen eine wirkliche Informationsaufnahme angelehnt an Lindsay und Norman (1972) u.U. fraglich ist, der Ausprägung zwischen 0s und 0,2s zurechnen zu können. Als nächster Grenzwert werden 0,7s definiert, damit die zuvor genannten typischen kurzen Fixationen von bis zu 0,5s bzw. 0,6s in diese Ausprägung einordnen zu können. Angelehnt an Lethaus et al. (2011) wird eine Fixationsdauer von 2,7s als oberer Grenzwert festgelegt. Zusätzlich wird die Zeitspanne zwischen 0,7 und 2,7s in gleichmäßige Schritte von 0,5s Länge eingeteilt. Damit ergeben sich die in Tabelle 12 dargestellten Ausprägungen zur Eigenschaft Aktivitätsdauer der Katalogklasse visuelle Informationsaufnahme.

Tabelle 12: Übersicht der Wertebereiche der Aktivitätsdauer der Katalogklasse I und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition

Aktivitätsdauer [s]	Begründung des jeweiligen Wertebereichs
[0;0,2]	Informationsaufnahme fraglich (vgl. an Lindsay und Norman (1972))
]0,2;0,7]	Eher kürzere Fixationsdauern mit gleichmäßiger Einteilung (siehe bspw. Lethaus et al. (2011) und Wierwille (1993))
]0,7;1,2]	
]1,2;1,7]	Eher längere Fixationsdauern mit gleichmäßiger Einteilung (siehe bspw. Lethaus et al. (2011) und Wierwille (1993))
]1,7;2,2]	
]2,2;2,7]	
]2,7;max]	Wertebereich für sehr lange Fixationen und zur Wahrung der Vollständigkeit

Grundsätzlich wäre es möglich alle einzelnen Fixationen als eine einzelne Aktivität zu betrachten. Dies würde zu einem sehr hohen Detailgrad des Katalogs passen. Um der Anforderung bzgl. des Detailgrads und der damit einhergehenden Komplexität, aber auch Echtzeitfähigkeit gerecht werden zu können, wird jedoch festgelegt, dass zusammenhängende Fixationen in einen identischen Fixationsraum zusammengefasst werden. Als Ausnahme wird vorgesehen, dass Fixationen in den identischen Fixationsraum unterschieden werden, wenn es durch die verwendete Messtechnik möglich ist potentielle Fixationsobjekte zu unterscheiden und die beiden Fixationen in dem gleichen Fixationsraum auf unterschiedlichen Fixationsobjekten liegen.

Abbildung 13 zeigt die komplette Katalogklasse zur visuellen Informationsaufnahme.

I: Visuelle Informationsaufnahme						
.K: Horizontale Kopfdrehung	...W: Winkel der horizontalen Kopfdrehung [°]	...V: Vertikale Kopfdrehung	.....N: Winkel der vertikalen Kopfdrehung [°]	.....R: Fixationsraum	.....O: Fixationsobjekt	.....D: Aktivitätsdauer [s]
..1: Drehung nach links	....1: [0;10]	.....1: Neigung nach oben	.....1: [0;10]	.....F: Frontscheibe	.....B: Fahrbahn	.....1: [0;0,2]
..2: Drehung nach rechts	....2: [10;20]	.....2: Neigung nach unten	.....2: [10;20]	.....1: Links oben	.....1: Fahrbahn nah	.....2: [0,2;0,7]
..3: Keine Drehung	....3: [20;35]	.....3: Keine Neigung	.....3: [20;35]	.....2: Links unten	.....2: Fahrbahn fern	.....3: [0,7;1,2]
..x: Unbekannt	....4: [35;80] ....5: [80;max] ....x: Unbekannt	.....x: Unbekannt	.....4: [35;50] .....5: [50;max] .....x: Unbekannt	.....3: Mittig oben	.....3: Fahrbahnmarkierungen	.....4: [1,2;1,7]
				.....4: Mittig unten	.....4: Gehsteig	.....5: [1,7;2,2]
				.....5: Rechts oben	.....5: Benachbarter Fahrstreifen	.....6: [2,2;2,7]
				.....6: Rechts unten	.....6: Startfahrstreifen	.....7: [2,7;max]
				.....x: Unbekannt	.....7: Zielfahrstreifen	.....x: Unbekannt
				.....Q: Seitenscheibe	.....8: Parkstreifen	
				.....1: Vordere links	.....9: Sonstiges	
				.....2: Hintere links	.....x: Unbekannt	
				.....3: Vordere rechts	.....T: Verkehrsteilnehmer (VT)	
				.....4: Hintere rechts	.....1: Vorausfahrender VT	
				.....x: Unbekannt	.....2: Entgegenkommender VT	
				.....H: Heckscheibe	.....3: Querender VT	
				.....S: Spiegel	.....4: Seitlicher VT	
				.....1: Außenspiegel links	.....5: Sonstiger VT	
				.....2: Außenspiegel rechts	.....x: Unbekannt	
				.....3: Innenspiegel	.....Z: Verkehrszeichen	
				.....x: Unbekannt	.....I: Hindernis	
				.....A: Armaturen	.....C: Tacho	
				.....1: Instrumententafel	.....P: Display	
				.....2: Infotainment	.....G: Sonstiges	
				.....x: Unbekannt	.....x: Unbekannt	
				.....Y: Sonstiges		
				.....x: Unbekannt		

Abbildung 13: Katalogklasse visuelle Informationsaufnahme (I)

Nachfolgend soll als Beispiel zur Katalogklasse I (siehe Abbildung 13) die Aktivität mit dem Code IK2W2V2N1RF6OxD3 in „Prosaform“ beschrieben werden:

Eine Fixation mit einer horizontalen Kopfdrehung nach rechts um 10° bis 20° und einer vertikalen Kopfdrehung nach unten um 0° bis 10° in den Fixationsraum der rechten unteren Frontscheibe auf ein unbekanntes Fixationsobjekt mit einer Fixationsdauer zwischen 0,7s und 1,2s.

Querführung (Q)

Mit Aktivitäten der Querführung befasst sich die Katalogklasse Q. Die Inhalte dieser Klasse umfassen lenkradbezogene Aktivitäten, die typischerweise über Hand- bzw. Armbewegungen durchgeführt werden. Eine Eigenschaft, die für eine vollständige Beschreibung dieser Aktivitäten nötig ist, ist die Information über die *Handwahl*. Die unmittelbar naheliegenden Ausprägungen dieser Eigenschaft sind die *linke Hand*, die *rechte Hand* und *beide Hände*. Da es theoretisch vorkommen kann, dass es zu einer Lenkradbewegung ohne Zuhilfenahme der Hände kommen kann, indem bspw. mit dem Oberschenkel oder Knie das Lenkrad betätigt wird, wird auch die Ausprägung *keine Hand* aus Gründen der Vollständigkeit (siehe Kapitel 3.2.1) vorgesehen. Detektierbar ist die Eigenschaft der Handwahl bspw. über eine kamerabasierte Messmethode oder auch über Druck- oder Kapazitätssensoren am Lenkrad. Eine sehr relevante Eigenschaft stellt die *Aktion der Hände* dar, da nur durch diese letztlich eine Querbewegung des Fahrzeugs realisiert werden kann und auch weitere interessante Informationen aus dieser Eigenschaft gezogen werden können. Die ersten Ausprägungen der Eigenschaft sind angelehnt an McKnight und Adams (1970a) *an Lenkrad führen* und *Lenkrad greifen*. Die gegenteiligen Ausprägungen *Lenkrad loslassen* und *von Lenkrad entfernen* werden ebenso vorgesehen, da die Information, dass das Lenkrad aktuell von keiner Hand gegriffen ist, für ein Assistenzsystem relevant sein kann. Ohne Hand am Lenkrad ist es sehr unwahrscheinlich, dass in einer Notfallsituation eine adäquate und sehr schnelle Reaktion des Fahrers stattfindet. Das Assistenzsystem könnte in diesem Fall vermutlich unmittelbar eingreifen und somit u.U. den Unfall verhindern oder zumindest die Unfallschwere mindern ohne dass der Fahrer sich bevormundet fühlt. Neben dem normalen Greifen des Lenkrads wird die Ausprägung *Lenkrad kräftig greifen* aufgenommen, da gemäß McKnight und Adams (1970a) ein kräftiger Griff charakteristisch für eine Notsituation bzw. Notreaktion ist und dies ebenfalls von Bedeutung sein kann. Die beiden wichtigsten Ausprägungen der Eigenschaft stellen das *Lenkrad nach links drehen (positiv)* und das *Lenkrad nach rechts drehen (negativ)* dar, da über diese beiden Ausprägungen die eigentlichen Lenkradbewegungen beschrieben werden können. Selbstverständlich kann abschließend das Lenkrad bei einem gewissen Lenkradwinkel gehalten werden. Da der Lenkradwinkel dabei nur sehr schwer konstant gehalten werden kann, wird die Ausprägung *Lenkrad annähernd konstant halten* als letzte Ausprägung der Eigenschaft definiert. Die *Bewegungsgeschwindigkeit*, mit der das Lenkrad gedreht wird, stellt bezogen auf die geforderte Vollständigkeit der Beschreibungsmethode eine weitere Eigenschaft der Katalogklasse Q dar. Die Ausprägungen der Eigenschaft können unter Zuhilfenahme typischer Werte aus der Literatur definiert werden. Gemäß Sporrer et al. (1998) können bei Fahrstreifenwechselmanövern bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100km/h bzw. 130km/h Lenkradwinkelgeschwindigkeiten von ca. 12°/s bis zu ca. 40°/s beim Auslenken bzw. kleinere Werte bis ca. 8°/s beim Einlenken gefunden werden. Schmidt et al. (2014) geben Werte von 3°/s für kleinere Lenkbewegungen in einer Vorlenkphase und bis zu 18°/s in der Hauptlenkphase eines Fahrstreifenwechsels als Ergebnisse einer Simulatorstudie bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 100km/h an. Angelehnt an die Untersuchungsergebnisse von Dambier (2010) können die Lenkradwinkelgeschwindigkeiten bei einem Abbiegemanöver bis zu 100°/s betragen. Bei Notausweichmanövern können erwartungsgemäß noch deutlich höhere Werte gefunden werden. Sporrer et al. (1998) identifizieren bei Versuchen mit 50km/h Fahrgeschwindigkeit Werte bis zu 160°/s, während nach Schmidt et al. (2014) Lenkradwinkelgeschwindigkeiten bis zu 200°/s und nach Kassaagi et al. (1999) von bis zu 306°/s auftreten können. Gemäß Breuer (1998) reicht der Wertebereich der Lenkradwinkelgeschwindigkeit bei Ausweichmanövern sogar bis hin zu einem Mittelwert von 746°/s wobei sogar vierstellige Maximalwerte gefunden wurden. Diese Extremwerte nach Breuer (1998) bergen nach eigener Einschätzung aber die Gefahr den Wertebereich zu verzerren und werden daher nicht explizit als

zusätzliche Ausprägung vorgesehen. Angelehnt an die zuvor dargestellten Referenzwerte aus der Literatur werden die Ausprägungen festgelegt (siehe Tabelle 13). Dabei werden kleine Wertebereiche für geringe und auch eher langsame Lenkkorrekturen vorgesehen, während ansonsten typische Werte für die Manöver Fahrstreifenwechsel, Abbiegen und Notausweichen für die Bereichsgrenzen genutzt werden.

Tabelle 13: Übersicht der Wertebereiche der Bewegungsgeschwindigkeiten der Katalogklasse Q und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition

Bewegungsgeschwindigkeit [°/s]	Begründung des jeweiligen Wertebereichs
[0;5]	Wertebereich für langsame Lenkkorrekturen (siehe bspw. Sporrer et al. (1998)) und das annähernde konstant halten des Lenkrads
[5;10]	
[10;20]	Wertebereich für schnellere Lenkkorrekturen und typische Lenkradbewegungen bei Fahrstreifenwechseln (siehe bspw. Sporrer et al. (1998))
[20;80]	
[80;120]	Ca. 100°/s bei Abbiegemanövern gemäß Dambier (2010)
[120;200]	200°/s maximaler Wert bei Notausweichmanövern gemäß Schmidt et al. (2014)
[200;max]	Noch höhere Werte möglich (vgl. Breuer (1998) oder Kassaagi et al. (1999))

Neben der Bewegungsgeschwindigkeit ist der eigentliche Lenkradwinkel sehr wichtig bei der Betrachtung der Aktivitäten der Querführung. Daher wird als nächste Eigenschaft die *Lenkradwinkelveränderung* beschrieben. Die Ausprägungen der Eigenschaft werden erneut an typischen Literaturwerten angelehnt. Bei der Recherche fällt auf, dass die Werte von der Geschwindigkeit abhängen können, weshalb im Folgenden auch immer der zugehörige Geschwindigkeitsbereich angegeben wird. Sporrer et al. (1998) ermitteln Werte von 12° bis 20° für einen Fahrstreifenwechsel im Fahrgeschwindigkeitsbereich von 100km/h bis 130km/h. Berndt et al. (2008) geben für Fahrstreifenwechsel auf der Autobahn Werte unterhalb 10° an und Winsum et al. (1999) nennt durchschnittliche Werte von ca. 13° bis 15° bei 50km/h. Schmidt et al. (2014) stellen bei der Betrachtung des Manövers Fahrstreifenwechsel Lenkradwinkelwerte von bis zu 40° fest. Werte von 80° für das Auslenken bzw. bis zu ca. 150° für das Gegenlenken werden von Sporrer et al. (1998) bei einem Notausweichen bei 50km/h genannt. Breuer (1998) findet Durchschnittswerte von etwa einer halben Lenkradumdrehung (180°) bei Notausweichmanövern. Gemäß Dambier (2010) wird das Lenkrad bei einem Abbiegemanöver bis zu 200° gedreht. Bei Parkmanövern bzw. der Durchfahrt eines Verkehrskreisels können noch höhere Werte auftreten. Die dargestellten Werte aus der Literatur geben jeweils den maximalen Wert an. Hinsichtlich der Betrachtung von Aktivitäten ist es wichtig, dass diese Werte auch durch mehrere aufeinanderfolgende Aktivitäten mit kleineren einzelnen Lenkradwinkelveränderungen aufgebracht werden können, da aus mehreren kleinen bis mittleren Lenkradwinkelveränderungen große Gesamtlenkradwinkel entstehen können. So beschreiben bspw. Schmidt et al. (2014) eine Vorlenkphase, die auch „Schulter“ genannt wird, die vor der Hauptlenkphase eines Fahrstreifenwechsels stattfinden kann. Aus diesem Grund wird bei der Definition der Ausprägungsgrenzen eine feinere Unterteilung im unteren Wertebereich vorgesehen. Die festgelegten Werte für die Katalogklasse Q und die Begründung der Einteilung ist in Tabelle 14 zusammengefasst. Dabei wird eine Lenkradwinkelveränderung von maximal 2° als ein annäherndes konstant Halten des Lenkrads angesehen, da gemäß Meyer (2008) bei „normaler“ Aufmerksamkeit kleine Lenkeingriffe zur Spurhaltung im Bereich zwischen 2° und 6° liegen und zudem 2° gemäß Wierwille und Gutmann (1978) als Grenzwert bei der Bestimmung sog. Lenkumkehrungen (engl. steering reversals) verwendet wird.

Tabelle 14: Übersicht der Wertebereiche der Lenkradwinkelveränderungen der Katalogklasse Q und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition

Lenkradwinkelveränderung [°]	Begründung des jeweiligen Wertebereichs
[0;2]	Annäherndes konstant Halten des Lenkrads (angelehnt an Meyer (2008)) Wertebereich für kleine Lenkkorrekturen
[2;5]	
[5;10]	
[10;30]	Bereich für kleinere (vgl. bspw. Winsum et al. (1999)) bzw. größere (vgl. Schmidt et al. (2014)) Lenkradwinkelveränderungen beim Fahrstreifenwechsel
[30;50]	
[50;100]	Wertebereich bei Notausweichmanövern (siehe bspw. Sporrer et al. (1998) oder Breuer (1998)) bzw. Abbiegemanövern gemäß Dambier (2010)
[100;200]	
[200;max]	Wertebereich bei bspw. Parkmanövern oder einer Kreiseldurchfahrt

Für die Unterscheidbarkeit unterschiedlicher Fahrmanöver ist es wichtig auch die *Ausgangsposition* vor der nächsten Aktivität zu betrachten. Nur über diese kann ein maximaler Lenkradwinkelbereich identifiziert werden. Zudem wird von der Ausgangsposition die Fahrtrajektorie vor der nächsten Aktivität bestimmt. Zur detaillierten Beschreibung der Ausgangsposition, kann zuerst die Eigenschaft *Bereich der Ausgangsposition* definiert werden. Diese Eigenschaft kann die Ausprägungen *positiv*, *negativ* und *neutral* annehmen. Das weitere Detail der Ausgangsposition ist die Eigenschaft zum *Wert der Ausgangsposition*. Für die neutrale Ausgangsposition wird angelehnt an der Festlegung bzgl. der geringen Lenkradwinkelveränderung der Bereich von -2° bis 2° vorgesehen. Die weiteren Werte der Ausgangsposition für den positiven bzw. negativen Bereich orientieren sich an den Maximalwerten der manövertypischen Lenkradwinkel, die bereits zuvor betrachtet wurden.

Mit dem Codierungsbuchstaben D wird zu guter Letzt die *Aktivitätsdauer* bei der Katalogklasse Querführung vorgesehen. Durch das zuvor angesprochene Vorhandensein von kleinen Lenkkorrekturen, bedarf es bei der Aktivitätsdauer auch der Betrachtung teilweise sehr kurzer Zeiten. Ob diese sehr feine Einteilung hinsichtlich der Anforderung der Komplexität (vgl. Kapitel 3.2.1) passend ist, wird im weiteren Verlauf der Arbeit diskutiert. Gemäß Sporrer et al. (1998) dauert ein Fahrstreifenwechsel in der Stadt in 80% der Fälle zwischen 4s und 6,5s. Während dieser Zeit muss ein Fahrer mindestens drei Aktivitäten durchführen: er muss auslenken, gegenlenken und das Fahrzeug letztlich wieder im neuen Fahrstreifen ausrichten. Es kann somit geschlossen werden, dass typische Aktivitätswerte für einen Fahrstreifenwechsel im Bereich von ca. 1s oder bis zu etwa 2s liegen. Durch die bereits angesprochene Tatsache, dass auch mehrere Aktivitäten z.B. beim Auslenken stattfinden können, werden weitere Ausprägungen im niedrigen Zeitbereich der Aktivitätsdauer vorgesehen. Auf der anderen Seite ist es jedoch auch möglich längere gleichbleibende Lenkbewegungen durchzuführen, bspw. auf einer Autobahnabfahrt mit einem relativ konstanten Kurvenradius. Da keine weiteren Literaturwerte identifiziert werden können, werden die Ausprägungen von kleinen Werten ausgehend stetig steigend definiert (siehe Abbildung 14).

Die komplette Übersicht der Eigenschaften und Ausprägungen der Katalogklasse Q kann Abbildung 14 entnommen werden.

Q: Querführung							
.W: Handwahl	...H: Aktion Hände	....G: Bewegungsgeschwindigkeit [°/s]	.....L: Lenkradwinkelveränderung [°]	.....B: Bereich der Ausgangsposition	.....S: Wert der Ausgangsposition [°]	.....D: Aktivitätsdauer [s]	
..1: Keine	....1: An Lenkrad (Lr) führen	....1: [0;5]	.....1: [0;2]	.....1: Positiv	.....1: [0;2]	.....1: [0;0,25]	
..2: Links	....2: Lr greifen	....2: [5;10]	.....2: [2;5]	.....2: Negativ	.....2: [2;10]	.....2: [0,25;0,75]	
..3: Rechts	....3: Lr kräftig greifen	....3: [10;20]	.....3: [5;10]	.....3: Neutral	.....3: [10;40]	.....3: [0,75;1,5]	
..4: Beide	....4: Lr annähernd konstant halten	....4: [20;80]	.....4: [10;30]		.....4: [40;100]	.....4: [1,5;2,5]	
..x: Unbekannt	....5: Lr nach links drehen (positiv)	....5: [80;120]	.....5: [30;50]		.....5: [100;200]	.....5: [2,5;4]	
	....6: Lr nach rechts drehen (negativ)	....6: [120;200]	.....6: [50;100]		.....6: [200;max]	.....6: [4;6]	
	....7: Lr loslassen	....7: [200;max]	.....7: [100;200]		.....x: Unbekannt	.....7: [6;max]	
	....8: Von Lr entfernen	....x: Unbekannt	.....8: [200;max]			.....x: Unbekannt	
	....x: Unbekannt		.....x: Unbekannt				

Abbildung 14: Katalogklasse Querführung (Q)

Als Beispiel einer Aktivität der Klasse Q soll die Aktivität mit dem Code *QWxH5G3L4B3S1D3* nachfolgend textuell beschrieben werden:

Das Drehen des Lenkrads nach links (positive Drehrichtung) mit einer Bewegungsgeschwindigkeit zwischen 10°/s und 20°/s um einen Lenkwinkel zwischen 10° und 30° aus einer neutralen Ausgangsposition des Lenkrads zwischen -2° und 2° mit einer Dauer zwischen 0,75s und 1,5s ohne Kenntnis mit welcher Hand die Drehung getätigt wurde

Längsführung (L)

Die Katalogklasse der Längsführung bezieht sich auf Aktivitäten an der Pedalerie des Fahrzeugs, da über diese der Fahrer Einfluss auf die Längsführung nimmt. Als erste relevante Eigenschaft kann das jeweilige *Pedal* genannt werden, welches gerade vom Fahrer betätigt wird. Die Ausprägungen der Eigenschaft umfassen das *Gaspedal* und das *Bremspedal*. Das dritte mögliche Pedal im Fußraum eines Fahrzeugs mit Schaltgetriebe, das Kupplungspedal, wird in dieser Klasse nicht betrachtet (siehe dazu Katalogklasse U). Normalerweise kann immer nur eines der beiden hier betrachteten Pedale zur gleichen Zeit betätigt werden, da sowohl Gas- als auch Bremspedal mit dem rechten Fuß betätigt werden. Dennoch ist es theoretisch möglich zeitlich parallele Aktivitäten mit dem Katalog zu beschreiben. Wie bereits erwähnt, zeichnen sich Aktivitäten der Längsführung durch Fußbewegungen aus. Demnach kann als zweite Eigenschaft der Klasse L die *Bewegung des rechten Fußes* definiert werden. Grundsätzlich kann der *Fuß zum Pedal geführt* oder auch *vom Pedal entfernt* werden, was mit Hilfe des Katalogs auch darstellbar sein soll, um bspw. eine Bremsbereitschaft des Fahrers beschreiben zu können (vgl. auch McKnight und Adams (1970a)). Messtechnisch können diese Ausprägung der Eigenschaft bzgl. der Fußbewegung bspw. über Kameras im Fußraum erfasst werden. Zudem ist die *positive Betätigung* bzw. *negative Betätigung* des jeweiligen Pedals relevant zur Beschreibung der Bewegung. Darüber hinaus kann das Pedal nach einer positiven Betätigung auch auf einer (*annähernd*) *konstanten Position gehalten* werden (vgl. auch McKnight und Adams (1970a)). Zusammenfassend können demnach die folgenden fünf Bewegungen des rechten Fußes für die Beschreibung im Rahmen der Katalogklasse L festgelegt werden:

- Zu Pedal führen
- Pedalposition annähernd konstant halten
- Pedal positiv betätigen (eindrücken)
- Pedal negativ betätigen
- Von Pedal entfernen

Sofern das Pedal bewegt wird, stellt die *Geschwindigkeit der Pedalbewegung* eine interessante Messgröße dar, die auch im Katalog als Eigenschaft vorgesehen werden soll. Gründe hierfür können z.B. darin gefunden werden, dass gemäß Kiesewetter et al. (1997) die Bewegungsgeschwindigkeit des Bremspedals bei Notbremsungen im Vergleich zu normalen Bremsungen bis zu dreimal höher sein kann. Auch gemäß Schmitt und Färber (2005) ist eine hohe Geschwindigkeit beim Lösen des Gaspedals ein typisches Verhalten, welches in Notbremssituationen gezeigt wird und welches mit einer Bremsabsicht des Fahrers in Verbindung gebracht werden kann (siehe auch Blaschke et al. (2008)). Auch nach Weiße (2003) gibt es einen höchst signifikanten Unterschied bei der Betrachtung der Fahrpedallösegeschwindigkeit von Not- und Standardbremssituationen. Gemäß Haken (2015) nutzen diesen Sachverhalt Bremsassistenten in modernen Antiblockiersystem(ABS)-Anlagen. Der Autor beschreibt, dass Fahrer beim Einleiten einer Vollbremsung besonders schnell vom Gaspedal gehen und das Bremspedal sehr schnell betätigen. Zudem werden Versuche genannt, in denen herausgefunden wurde, dass „weniger geübte Fahrer die Bremse auch bei einer Vollbremsung nur so stark betätigen, bis die ABS-Regelung an der Vorderachse einsetzt“ (Haken (2015)). Dabei werde der Kraftschluss an der Hinterachse nicht völlig genutzt, wodurch sich der Bremsweg unnötig verlängert. Bremsassistenten (siehe dazu auch Weiße (2003)) bauen deshalb gemäß Haken (2015) einen Vordruck in der Bremsanlage auf, wodurch sich die Bremsbeläge anlegen und unmittelbar nach der Betätigung des

Bremspedals ein Bremsdruck aufgebaut werden kann. Zudem wird der Bremsdruck erhöht, damit der Kraftschluss maximal genutzt werden kann. Weiße (2003) fasst zusammen, dass die Bremsassistenten die drei Größen Fahrzeuggeschwindigkeit, Bremspedalstellung und Bremspedalgeschwindigkeit betrachten, um eine Notbremsung feststellen zu können. Kassaagi et al. (1999) geben an, dass in durchgeführten Simulatorversuchen bei normalen Situationen eine mittlere negative Bewegungsgeschwindigkeit des Gaspedals von 102mm/s gefunden wurde. Des Weiteren identifizierten die Autoren in Notsituationen eine höhere mittlere negative Bewegungsgeschwindigkeit des Gaspedals. Diese betrug je nach Situation bis zu 150mm/s oder gar bis zu 283mm/s. Die positiven Bewegungsgeschwindigkeiten des Bremspedals erreichen gemäß Grzesik (2009) am häufigsten Werte zwischen ca. 30mm/s und 70mm/s und können bis zu 250mm/s erreichen. Die Bewegungsgeschwindigkeiten können neben den bisher dargestellten Werten in der Einheit mm/s auch Werte in der Einheit %/s angegeben werden (siehe dazu bspw. Dambier (2010)). Für eine möglichst hohe Allgemeingültigkeit der Methode sollte die Pedalbewegungsgeschwindigkeit im Katalog mit %/s beschrieben werden, da nicht zwingend der Pedalweg in mm bekannt sein muss und das Signal typischerweise auch in dieser Einheit auf dem CAN-Bus verfügbar ist. Da in den bereits genannten Literaturquellen keine konkreten Werte für die zugrundeliegenden Pedalwege genannt werden, davon losgelöst keine typischen Werte gefunden werden konnten und aus Gründen der Vereinfachung wird ein mittlerer Pedalweg von 100mm angenommen, sodass die Werte statt in mm/s direkt in %/s überführt werden können. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 5.2 kritisch hinterfragt. Dambier (2010) gibt zum Manöver Anfahren einen qualitativen Verlauf der Gaspedalposition in % an. Die dort überschlägig ermittelbaren Werte reichen von langsamen Bewegungen von etwa 10%/s bis hin zu Werten um etwa 175%/s beim sehr schnellen Lösen des Gaspedals. Tabelle 15 fasst die Festlegungen zu den Ausprägungen der Bewegungsgeschwindigkeiten der Pedale zusammen.

Tabelle 15: Übersicht der Wertebereiche der Bewegungsgeschwindigkeiten der Katalogklasse L und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition

Bewegungsgeschwindigkeit [%/s]	Begründung des jeweiligen Wertebereichs
[0;40]	Bereich für eher langsame Korrekturen an den Pedalen (vgl. Dambier (2010))
]40;90]	Häufigster Wertebereich gemäß Grzesik (2009) (siehe auch Dambier (2010))
]90;120]	Mittlerer Wert bei normalen Situationen nach Kassaagi et al. (1999)
]120;200]	Primär Werte bei Notsituationen (siehe Kassaagi et al. (1999) und Grzesik (2009)) mit Zweiteilung, um feinere Unterschiede beschreiben zu können
]200;max]	

Die Bewegung des Pedals mit einer gewissen Geschwindigkeit wird aus einer *Ausgangspedalstellung* getätigt. Diese Eigenschaft ist für eine vollständige Beschreibung der Längsführungsaktivitäten nötig und greift zudem die Anforderung nach einer einheitlichen Methode (vgl. Kapitel 3.2.1) auf, da auch in der Katalogklasse Q die Ausgangsstellung beschrieben wird. Durch den innovativen Charakter der Methode und dem Ansatz diese Eigenschaft zu betrachten, können keine typischen Werte in der Literatur gefunden werden. Die Ausprägungen der Eigenschaft werden demnach eigenständig definiert. Es erscheint zielführend den Wertebereich zwischen 0% und 100% gleichmäßig einzuteilen. Um die Komplexität des Katalogs nicht zu hoch werden zu lassen, werden Schritte von je 25% für die Ausprägungen definiert, wobei die Ausgangsstellung 0% als eigene Ausprägung vorgesehen wird (siehe Abbildung 15).

Nach der Pedalbewegungsgeschwindigkeit und der Ausgangsposition wird als nächste Eigenschaft der Katalogklasse L der *Weg der Pedalbewegung* betrachtet, um die Aktivität möglichst vollständig beschreiben zu können. Der Pedalweg wird als Differenz zwischen der absoluten Pedalstellung vor und nach der Aktivität definiert. Auch hier gestaltet sich die Festlegung der Ausprägungen anhand der Literaturwerte als nicht einfach. Die Ausprägungen werden dennoch analog der anderen Klassen und Eigenschaften mit Werten definiert. Sehr kleine Pedalwege zwischen 0° und 2° werden dabei der Ausprägung Position annähernd konstant halten der Eigenschaft Bewegung des rechten Fußes zugeordnet. Während bei der Ausgangspedalstellung eine gleichmäßige Verteilung der Ausprägungen

auf den Wertebereich ausreicht, wird der Weg der Pedalbewegung detaillierter und daher ungleichmäßig eingeteilt. Damit soll ermöglicht werden unterschiedliche Absichten des Fahrers oder auch unterschiedliche Fahrmanöver besser zu beschreiben. Zudem bedarf es bei den niedrigen Bewegungswegen einer eigenen Ausprägung für die Aktivität des annähernden konstant Haltens des Pedals. In Abbildung 15 können die festgelegten Ausprägungen in der fünften Spalte gefunden werden.

Als letzte Eigenschaft wird erneut die *Aktivitätsdauer* vorgesehen. Diese wird aus Gründen fehlender Literaturwerte analog zur Katalogklasse Q eingeteilt. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 5.2 gezielt diskutiert.

Abbildung 15 zeigt die Katalogklasse L mit den Eigenschaften Pedal, Bewegung des rechten Fußes, Bewegungsgeschwindigkeit, Ausgangspedalstellung, Weg der Pedalbewegung und Aktivitätsdauer.

L: Längsführung							
.P: Pedal	...A: Bewegung rechter Fuß	.....G: Bewegungsgeschwindigkeit [%/s]	.....S: Ausgangspedalstellung [%]	.....W: Weg der Pedalbewegung [%]	.....D: Aktivitätsdauer[s]		
..1: Gaspedal	....1: Zu Pedal führen	.....1: [0;40]	.....1: [0]	.....1: [0;2]	.....1: [0;0,25]		
..2: Bremspedal	....2: Position annähernd konstant halten	.....2: [40;90]	.....2: [0;25]	.....2: [2;10]	.....2: [0,25;0,75]		
	....3: Pedal positiv betätigen (eindrücken)	.....3: [90;120]	.....3: [25;50]	.....3: [10;20]	.....3: [0,75;1,5]		
	....4: Pedal negativ betätigen	.....4: [120;200]	.....4: [50;75]	.....4: [20;50]	.....4: [1,5;2,5]		
	....5: Von Pedal entfernen	.....5: [200;max]	.....5: [75;100]	.....5: [50;70]	.....5: [2,5;4]		
	....x: Unbekannt	.....x: Unbekannt	.....x: Unbekannt	.....6: [70;100]	.....6: [4;6]		
				.....x: Unbekannt	.....7: [6;max]		
					.....x: Unbekannt		

Abbildung 15: Katalogklasse Längsführung (L)

Als Beispiel der Katalogklasse Längsführung wird die Aktivität mit dem Code *LP1A3G2S1W4D4* nachfolgend erläutert. Diese Aktivität kann ein eher zügiges, gleichmäßiges Anfahren an einer Ampel widerspiegeln.

Das positive Betätigen (Eindrücken) des Gaspedals mit einer Bewegungsgeschwindigkeit von 40%/s bis 90%/s aus einer Ausgangsposition von 0% um einen Pedalweg zwischen 20% und 50% mit einer Dauer von 1,5s bis 2,5s.

Signalgebung (S)

Die Katalogklasse S umfasst alle wichtigen Aktivitäten, mit denen sich der Fahrer während der Fahrzeugführung über das Fahrzeug anderen Verkehrsteilnehmern per Signal mitteilen kann. Bei dieser Klasse gilt es zu beachten, dass verschiedene voneinander unabhängige *Signale* beschrieben werden müssen. Im Hinblick auf einige Fahrmanöver besitzt der *Fahrtrichtungsanzeiger* (ugs. auch als Blinker bezeichnet) eine hohe Relevanz (vgl. auch Kapitel 2.5). Die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers wird auch in der Straßenverkehrsordnung (StVO) gefordert. So heißt es in §7 (5) der StVO (2013) „jeder Fahrstreifenwechsel ist rechtzeitig und deutlich anzukündigen; dabei sind die Fahrtrichtungsanzeiger zu benutzen“. Hinsichtlich der weiteren Detailstufe der Ausprägungen des Signals Fahrtrichtungsanzeiger kann der Anzeiger im Fahrzeug *aktiviert* werden, wodurch ein laufendes Signal erzeugt wird, bis der Fahrtrichtungsanzeiger entweder durch den Fahrer selbst oder durch eine automatische Funktion (sog. „Blinkerrückstellung“ beim Erreichen der Ruhelage nach dem Auslenken) deaktiviert wird. Des Weiteren kann der Fahrtrichtungsanzeiger *angetippt* werden. Durch das Antippen wird in modernen Fahrzeugen eine Sequenz mit einem dreimaligen Aufleuchten der Leuchte des Fahrtrichtungsanzeigers initiiert. In älteren Fahrzeugen, kommt es hingegen durch das Antippen nur zu einer Betätigung über die Dauer des eigentlichen Antippens. Die Unterscheidung zwischen Aktivieren und Antippen wird vorgesehen, da hinter einem Antippen im Vergleich zu einem Aktivieren eine andere Fahrerintention stehen kann. So wird vermutet, dass vor einem Abbiegemanöver - v.a. wenn vor dem Abbiegen nach links noch entgegenkommender Verkehr durchgelassen werden muss - der Fahrtrichtungsanzeiger eher aktiviert wird und dass ein Fahrstreifenwechsel häufiger mit einem Antippen einhergeht. Eine weitere Ausprägung der Eigenschaft Signal stellt der *Warnblinker* dar, der gemäß StVO (2013) beim Liegenbleiben von Fahrzeugen (§15),

beim Abschleppen eines Fahrzeugs (§15a) oder wenn das eigene Fahrzeug eine Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer darstellt (vgl. §16) angeschaltet werden darf bzw. muss. Als Details der Ausprägung des Warnblinkers kommen nur das *Aktivieren* bzw. *Deaktivieren* des Signals in Frage, da keine weiteren Zustände möglich sind. Die beiden letzten Ausprägungen stellen die *Lichthupe* und die *Hupe* dar. Da diese nur aktiviert werden können, bedarf es keiner weiteren Untergliederung. Eine weitere Eigenschaft der Signalgebung ist die *Richtung* des Signals. Diese ist jedoch nur für den Fahrtrichtungsanzeiger relevant, da mit den anderen Signalen keine Richtungsinformation übermittelt werden kann. Die Richtung kann die Ausprägungen *nach links*, *nach rechts* und der Vollständigkeit halber *Unbekannt* annehmen.

Allen genannten Signalen der Klasse S gemein ist die *Aktivitätsdauer*, die analog den anderen Katalogklassen als Eigenschaft definiert wird. Die Ausprägungen der Aktivitätsdauer orientieren sich primär am Fahrtrichtungsanzeiger, da für die anderen Signale keine typischen Dauern in der Literatur gefunden werden konnten und das Signal auch die größte Relevanz innerhalb der Katalogklasse besitzt. Gemäß §54 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO, siehe StVZO (2012)) müssen Fahrtrichtungsanzeiger mit einer Frequenz von $1,5\text{Hz} \pm 0,5\text{Hz}$ zwischen hell und dunkel in gleicher Phase blinken. Damit ergibt sich eine Einzelblinkdauer von 0,67s, bei einem Toleranzbereich zwischen 0,5s und 1s. Ein kürzeres Signal des Fahrtrichtungsanzeigers ist demnach nur möglich, wenn eine einzelne Betätigung durch den Fahrer abgebrochen wird. Da dieser Fall sehr selten ist, kann 0,5s als untere Grenze für Aktivitäten des Fahrtrichtungsanzeigers angesehen werden. Unter dieser Grenze sind jedoch andere Signalaktivitäten der Klasse S möglich. Die Hupe oder Lichthupe kann bspw. sehr kurz betätigt werden. Wie bereits zuvor angedeutet, stellt das Antippen des Fahrtrichtungsanzeigers eine häufige Aktivität dar. Auch wenn der Fahrer zum Einleiten dieser Aktivität den Fahrtrichtungsanzeiger selbst nur kurz betätigt, ist die Folge der Aktivität ein Signal mit einer bestimmten Länge, welche auch über den CAN-Bus ermittelt werden kann. Typischerweise folgen dem Antippen drei helle Signalphasen des Fahrtrichtungsanzeigers mit entsprechend zwei dunklen Phasen dazwischen. Wieder angelehnt an StVZO (2012) ergibt sich somit eine Gesamtsignaldauer von ca. 3,3s. Durch die Toleranzen im Fahrtrichtungsanzeigersignal wird als untere Grenze der Wert von 2,5s angesetzt, während die Obergrenze der Wert 5s darstellt. Für einen weiteren Grenzwert des Fahrtrichtungsanzeigersignals werden weitere Aspekte von Fahrstreifenwechseln betrachtet. Gemäß Liebner et al. (2012) wird der Fahrtrichtungsanzeiger im Schnitt ca. 3s vor dem Beginn eines Fahrstreifenwechsels betätigt. Sporrer et al. (1998) geben an, dass das Manöver in der Stadt in den durchgeführten Versuchen in 80% der Fällen 4s bis 6,5s dauert. Wird die Annahme zugrunde gelegt, dass der Fahrtrichtungsanzeiger entsprechend durchschnittlich 3s vor und die gesamte Dauer während des Fahrstreifenwechsels, also bis zu 6,5s, aktiviert bleibt, kann als weiterer Grenzwert 9,5s definiert werden.

Eine Übersicht zur Katalogklasse S kann in Abbildung 16 gefunden werden.

S: Signalgebung				
.G:	Signal	....R:	Richtung	.....D: Aktivitätsdauer [s]
..B:	Fahrtrichtungsanzeiger	.....1:	Links	.....1: [0;0,5]
...1:	Aktivieren	.....2:	Rechts	.....2: [0,5;2,5]
...2:	Antippen	.....x:	Unbekannt	.....3: [2,5;5]
...3:	Deaktivieren			.....4: [5;9,5]
..W:	Warnblinker			.....5: [9,5;max]
...1:	Aktivieren			.....x: Unbekannt
...2:	Deaktivieren			
..L:	Lichthupe			
..H:	Hupe			

Abbildung 16: Katalogklasse Signalgebung (S)

Gemäß Abbildung 16 beschreibt der Code *SB1R1D3* folgendes:

Die Aktivierung des Fahrtrichtungsanzeigers nach links mit einer Aktivierungsdauer zwischen 2,5s und 5s.

Schaltvorgang (U)

Bei der Betrachtung des Schaltvorgangs ist es in einem ersten Schritt wichtig zwischen einem Automatikgetriebe (Teilkategorie UA) und einem manuellen Getriebe (Teilkategorie UM) zu unterscheiden, da sich die Aktivitäten inhaltlich unterscheiden.

Für ein *Automatikgetriebe* können Aktivitäten der *rechten Hand* beschrieben werden, sofern keine zusätzlichen Schaltwippen am Lenkrad vorhanden sind. Die Ausprägungen der Eigenschaft *rechte Hand* umfassen angelehnt an die Einteilung bzgl. des Lenkrads in der Katalogklasse Q folgende Punkte:

- Auf Schalthebel führen
- Schalthebel auf Position P (Park) stellen
- Schalthebel auf Position N (Leerlauf) stellen
- Schalthebel auf Position D (Drive) stellen
- Schalthebel auf Position R (Rückwärts) stellen
- Von Schalthebel entfernen

Verfügt das Fahrzeug mit Automatikgetriebe über Schaltwippen oder die Möglichkeit eines „Sport-Modus“, müssen noch weitere Möglichkeiten (z.B. einer manuellen Manipulation der Fahrgangwahl über die Schaltwippen) vorgesehen werden und es kann relevant werden auch die linke Hand in die Betrachtung zu integrieren.

Eine weitere Aktivität, die zu einem Schaltvorgang bei einem Automatikgetriebe gezählt werden könnte, stellt das Aktivieren des sog. „kick-down“ dar. Dabei kann über ein kurzzeitiges Betätigen des Gaspedals mit einem sehr großen Pedalweg (bis hin zu kurzzeitigem Vollgas geben) dem Automatikgetriebe signalisiert werden, dass ein Fahrgang heruntergeschaltet werden soll, um bspw. für ein Überholmanöver bessere Beschleunigungsmöglichkeiten zu haben. Da die Gaspedalbetätigungen in der Klasse L definiert sind und um keine undurchsichtige Trennung bei den Betätigungen des Gaspedals zu erzeugen, wird darauf verzichtet eine eigene entsprechende Eigenschaft bei der Betrachtung der Schaltvorgänge bei einem Automatikgetriebe zu definieren. Für die Analyse bzw. Interpretation der Gaspedalaktivitäten in der Klasse L sollte dies jedoch im Hinterkopf behalten werden.

Im Gegensatz zur Betrachtung des Automatikgetriebes bedarf es bei der Beschreibung von Aktivitäten eines Schaltvorgangs bei einem *manuellen Getriebe* auch der Definition von *Bewegungen des Fußes* am Kupplungspedal. Die erste Eigenschaft umfasst demnach die Bewegungen des linken Fußes, mit dem das Kupplungspedal standardmäßig betätigt wird. Die Details der Fußbewegung können aus Klasse L grundsätzlich übernommen werden. Auch bzgl. des Kupplungspedals kann der Fuß *zum Pedal geführt* werden. Die Position des Fußes kann *annähernd konstant gehalten* werden, das Pedal kann *positiv betätigt* und *negativ betätigt* werden und der Fuß kann *vom Pedal entfernt* werden. Eine weitere Detaillierung der Fußbewegung bzw. Bewegungsgeschwindigkeiten, Ausgangsstellungen und Pedalwegen und ist grundsätzlich analog zur Klasse L denkbar, bringt jedoch wenig Mehrwert bzgl. der Aktivitätsanalyse und wird daher aus Gründen der Komplexität bzw. Handhabbarkeit des Katalogs (siehe Kapitel 3.2.1) nicht vorgesehen.

Neben der Analyse der Fußbewegung bedarf es aber der Analyse der *Handbewegung*. Zu dieser Eigenschaft werden gemäß dem aktuellen Technikstand insg. elf Ausprägungen definiert, die alle Abbildung 17 entnommen werden können.

Es ist wichtig zu betonen, dass die Hand- bzw. Fußbewegungen als einzelne eigene Aktivitäten angesehen werden, die sich zeitlich überschneiden können. Dies verdeutlicht auch die Anordnung der beiden Eigenschaften als unterschiedliche Zeilen der Katalogklasse.

Auf die Definition der Aktivitätsdauer wird bei Katalogklasse U verzichtet, da abgeschätzt wird, dass der Mehrwert hinsichtlich der zeitlichen Details der Aktivitäten gering wäre und da keine typischen

Werte in der Literatur identifiziert werden können. Bedarf es einer genaueren Analyse der Schaltvorgänge, können Aktivitätsdauern jedoch jederzeit festgelegt werden.

Die gesamte Katalogklasse U mit der Hauptunterscheidung zwischen Automatikgetrieben und manuellen Getrieben kann in Abbildung 17 gefunden werden.

U: Schaltvorgang		
UA: Schaltvorgang Automatikgetriebe		
Hand- bewegung	..H:	Aktion Hand (rechts)
	...1:	Auf Schalthebel führen
	...2:	Schalthebel auf Position P
	...3:	Schalthebel auf Position N
	...4:	Schalthebel auf Position D
	...5:	Schalthebel auf Position R
	...6:	Von Schalthebel entfernen
	...x:	Unbekannt
UM: Schaltvorgang manuelles Getriebe		
Fuß- bewegung	..F:	Aktion Fuß (links)
	...1:	Zu Pedal führen
	...2:	Position annähernd konstant halten
	...3:	Pedal positiv betätigen (eindrücken)
	...4:	Pedal negativ betätigen
	...5:	Von Pedal entfernen
	...x:	Unbekannt
Hand- bewegung	..K:	Aktion Hand (rechts)
	...1:	Hand auf Schalthebel führen
	...2:	Schalthebel auf Position des ersten Gangs
	...3:	Schalthebel auf Position des zweiten Gangs
	...4:	Schalthebel auf Position des dritten Gangs
	...5:	Schalthebel auf Position des vierten Gangs
	...6:	Schalthebel auf Position des fünften Gangs
	...7:	Schalthebel auf Position des sechsten Gangs
	...8:	Schalthebel auf Position des siebten Gangs
	...9:	Schalthebel auf Position des Rückwärtsgangs
	...10:	Schalthebel auf neutrale Position
	...11:	Hand von Schalthebel entfernen
	...x:	Unbekannt

Abbildung 17: Katalogklasse Schaltvorgang (U)

Als Beispiel der Katalogklasse U wird die Aktivität mit dem Code *UAH4* beschrieben:

Das Bewegen des Schalthebels auf die Position D eines Automatikgetriebes mit der rechten Hand

Sonstige Aktivitäten (N)

Zu der letzten Katalogklasse (Sonstige Aktivitäten) werden gemäß Abbildung 11 Aktivitäten gezählt, die bzgl. tertiärer und teilweise auch sekundärer Fahraufgaben (vgl. Kapitel 2.1) anfallen. Folgende Eigenschaften werden zu dieser Katalogklasse definiert:

- Sitzeinstellung
- Kopfstützeeneinstellung
- Spiegeleinstellungen
- Lichteinstellungen
- Scheibenwischereinstellungen
- Umgang Sicherheitsgurt
- Umgang Zündschlüssel
- Umgang Fenster
- Umgang Handbremse
- Klimaanlageeneinstellungen
- Radioeinstellungen
- Navigationseinstellungen
- Infotainmentsystemeinstellungen
- Assistenzsystemeinstellungen
- Weitere

Beispielhaft sollen an dieser Stelle die drei wichtigsten Ausprägungen zur Eigenschaft *Sitzeinstellung* aufgeführt werden. Diese umfassen die *Veränderung der Längsposition des Sitzes*, die *Veränderung der Sitzhöhe* und die *Veränderung der Neigung der Sitzlehne*. Je nach Ausstattung des Fahrzeugs bezogen auf den Sitz können noch einige weitere Ausprägungen betrachtet werden. Als Beispiel sei hier eine mögliche Lordoseverstellung oder eine Massagefunktion des Sitzes genannt. Anhand dieses Beispiels kann verdeutlicht werden, dass die Ausprägungen der Katalogklasse N sehr umfangreich sein können. Andere Eigenschaften, wie bspw. die der *Assistenzsystemeinstellungen* hängen ebenfalls von der Ausstattung des Fahrzeugs, aber auch sehr stark von der technischen Weiterentwicklung ab. Daher erscheint es fast unmöglich eine Vollständigkeit hinsichtlich der „Sonstigen Aktivitäten“ abzubilden, auch wenn diese grundsätzlich anzustreben wäre (vgl. Kapitel 3.2.1). Eine Auswahl an möglichen Ausprägungen zu den genannten Eigenschaften der Klasse N kann Anhang A entnommen werden. Die Angabe von typischen Dauern zu den einzelnen Aktivitäten stellt sich ebenfalls als sehr schwierig heraus und durch die zusätzliche Tatsache, dass der Mehrwert hinsichtlich einer Verhaltensprädiktion als eher gering eingestuft wird, wird auf die Festlegung von Aktivitätsdauern zur Katalogklasse N verzichtet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Details zu insgesamt sechs Katalogklassen erarbeitet wurden, mit Hilfe derer das Fahrerverhalten sehr umfassend und allgemeingültig beschrieben werden kann. In Anhang B können die festgelegten Katalogklassen noch einmal kompakt zusammengestellt gefunden werden.

Die Aktivitäten, die in diesem Kapitel für Eigenschaften und Ausprägungen definiert wurden, können über einen Code beschrieben werden. Wird ausschließlich dieser Code verwendet, wird die Anforderung der Handhabbarkeit nicht ausreichend beachtet, da der Code wenig anschaulich ist. Aus diesem Grund wird in Kapitel 3.2.3 eine separate Visualisierungsmethode entwickelt.

3.2.3. Visualisierung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers

Neben der in Kapitel 3.2.2 eingeführten Codierung der Aktivitäten, die hinsichtlich einer rechnergestützten Verarbeitbarkeit Vorteile besitzt, bedarf es einer geeigneten weiteren Visualisierungsmethode, damit auch die Anforderung der Handhabbarkeit/Anwendbarkeit der entwickelten Methode der Aktivitätsanalyse Beachtung findet. Neben der Nutzung der Methode für einen Algorithmus ist es gemäß Kapitel 1.2 ein erklärtes Ziel, mit der Methode das Fahrerverhalten beschreiben und analysieren zu können. Dabei sollten die Schritte zur Analyse bzw. Interpretation des Verhaltens nach Möglichkeit auch ohne Rechneinsatz erfolgen können. Die ausschließliche Verwendung der Codierung mit Buchstaben und Zahlen erschwert eine Interpretation der Ergebnisse der Aktivitätsanalyse, da die reinen Zeichenketten nur wenig anschaulich sind und auch weitere Details des zeitlichen Bezugs zwischen den Aktivitäten nicht oder nur sehr umständlich darstellbar sind (siehe auch Langer et al. (2015b)). Aus diesen Gründen wird im Folgenden eine anschauliche Visualisierungsmethode neben der Codierung hergeleitet. Die Entwicklung des grundlegenden Konzepts wurde durch die studentische Abschlussarbeit Holzheimer (2014) und die Weiterentwicklung durch die Arbeiten Martins Ferreira (2015) und Uzar (2015) unterstützt.

Zu einer Visualisierungsmethode können vergleichbar zum Vorgehen in Kapitel 3.2.1 ebenfalls Anforderungen aufgestellt werden. Bereits erwähnt wurde die Anforderung der *Anschaulichkeit* der Visualisierungsmethode. Gemäß dem Hauptziel einer anschaulichen Darstellung muss diese als eine der wichtigsten Anforderung definiert werden. Angelehnt an Haase (2000) kann die Qualität einer Visualisierung als „Möglichkeit und Leichtigkeit, mit der ein jeweiliger Benutzer die für ihn gerade interessanten Informationen, die in einem Datensatz enthalten sind, aufgrund der konkreten Visualisierung gewinnen kann“ definiert werden. Daraus abgeleitet und einhergehend mit einer hohen Anschaulichkeit der Visualisierungsmethode können die *Einfachheit* bzw. *Verständlichkeit* der Methode als Anforderungen genannt werden. Ohne die Beachtung dieser beiden Anforderungen würde der Sinn der Visualisierung, dass die Informationen nicht umständlich nur durch einen Code beschrieben werden, nicht getroffen werden. Ebenso kann angelehnt an Haase (2000) gefolgert werden, dass die Informationen, die dargestellt werden, über eine hohe *Relevanz* für den Nutzer der Visualisierung verfügen sollten. Die Visualisierung sollte zudem über eine möglichst hohe *Übersichtlichkeit* verfügen, damit die dargestellten und meist komprimierten Informationen schnell aufgenommen werden können. In Verbindung mit der schnellen Aufnahme der Informationen kann die *Gebrauchstauglichkeit* der Methode hervorgehoben werden. Gemäß DIN EN ISO 9241-11 gehören zur Gebrauchstauglichkeit die drei Faktoren Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit. Im Bezug zur Forderung einer möglichst hohen Übersichtlichkeit kann zudem genannt werden, dass die Methode möglichst in einem gewissen Maße *platzsparend* ausgelegt ist.

Die Anforderungen zeigen, dass die Visualisierungsmethode auf der einen Seite möglichst einfach gehalten werden sollte, aber dennoch die relevanten Informationen enthalten soll. Gerade die Relevanz der Informationen ist jedoch vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig. Demnach ist es sehr entscheidend sich vor der Entwicklung der Methode über den geforderten Detailgrad der Visualisierung Gedanken zu machen. So kann es bspw. ausreichend sein, wenn lediglich eine Aussage vermittelt wird, ob und wenn ja wann ein Fahrzeugführer den Fahrtrichtungsanzeiger aktiviert hat oder ob und wenn ja wann er eine Bremsung eingeleitet hat. Sind die Anforderungen an den Detailgrad der Informationen dementsprechend eher niedrig, kann die Darstellung über einfache Piktogramme, die gemäß Godlewsky (2008) als „eine leicht zu erfassende Darstellung, die der Vermittlung von Informationen dient“ definiert werden können, zielführend sein. Staufer (1987) nennt den geringen Platzbedarf und Vorteile bei der Erkennungsgeschwindigkeit der relevanten Informationen als Vorteile von Piktogrammen. Einen vergleichbaren Ansatz, bei dem über eine Farbhervorhebung im einem Piktogramm die Betätigung eines Pedals und über einen roten Pfeil nach unten eine zugehörige Geschwindigkeitsverringerung dargestellt wird, verwenden bspw. Telpaz et al. (2015). Wird jedoch ein höherer Detailgrad der Visualisierung gefordert, müssen komplexere Ansätze erarbeitet werden. Den grundsätzlich höchsten Detailgrad stellen dabei die bekannten kontinuierlichen Graphen von einzelnen Messgrößen dar. Sollen über diesen Ansatz jedoch mehrere unterschiedliche Signale miteinander verglichen werden und werden sehr unterschiedliche Signale in Betracht gezogen, wird eine Visualisierung sehr schnell unübersichtlich und nur mit großem Aufwand interpretierbar. Die Methode der Aktivitätsanalyse zielt zudem nicht auf einen sehr hohen Detailgrad der Informationen ab, sondern vereinfacht bewusst die kontinuierlichen Signale zu einzelnen diskreten Gruppen, die in der Methode als Ausprägungen der Eigenschaften bezeichnet werden. Durch das Vorsehen vieler Details kann der Aktivitätsanalyse dennoch ein eher hoher Detailgrad bescheinigt werden. Für diese Art von Methode bedarf es demnach auch eine Visualisierung auf eher hohem Detailniveau. In der Literatur können häufig Darstellungen von Prozessen oder Abfolgen von verschiedenen gearteten Schritten gefunden werden, die in gewisser Weise vergleichbar mit einer Zeitleiste eines Gantt-Diagramms aus dem Projektmanagement (siehe dazu bspw. Aichele (2006)) sind. Beispiele können u.a. zur Beschreibung von Prozessketten in der Automobilindustrie (z.B. Dostal (2013)) oder zur Darstellung des Ablaufs eines Flugmanövers mit Hilfe der Methode STEP (Sequentially Timed Events Plotting, siehe Herrera und Woltjer (2009)) gefunden werden. Kobiela (2011) nutzt eine ähnliche Visualisierungsmethode zur Darstellung verschiedener Fahrerreaktionen bei autonomen Notbremsereingriffen, was dem intendierten Ziel der hier beschriebenen Visualisierungsmethode schon recht nahe kommt. Mit dem Zeitleistenansatz können unterschiedliche Aktivitäten derselben Klasse

nacheinander, aber auch Aktivitäten verschiedener Klassen parallel zu einander dargestellt werden. Abbildung 18 verdeutlicht den Ansatz.

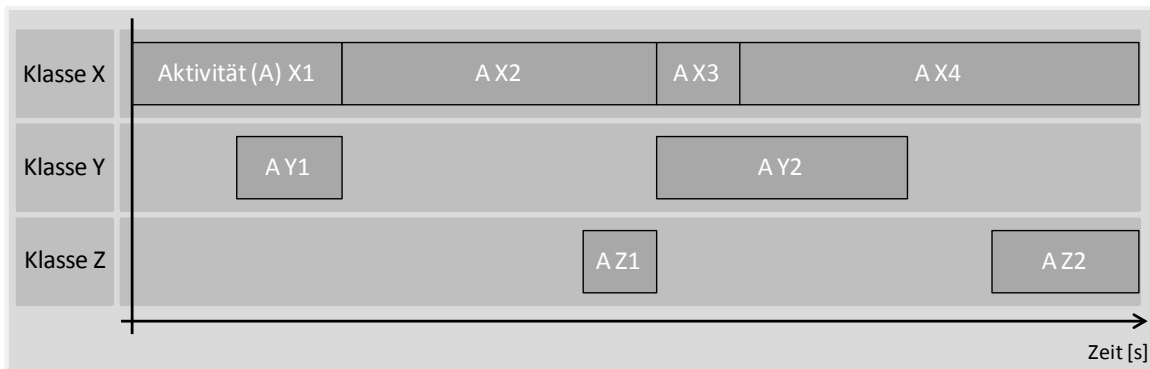


Abbildung 18: Verdeutlichung des Ansatzes einer Zeitleiste zur Visualisierung der Aktivitäten

Nachdem damit das grundlegende Konzept erarbeitet ist, werden die Details zu den einzelnen Darstellungen der Aktivitäten hergeleitet. Auch wenn dies für jede Katalogklasse getrennt getan werden muss, kann wieder die grundsätzliche Idee für alle Katalogklassen gemeinsam beschrieben werden. Die Katalogklassen verfügen über eine unterschiedliche Anzahl von Eigenschaften und die Eigenschaften können eine unterschiedliche Anzahl von Ausprägungen besitzen. Es ist wünschenswert für jede Eigenschaft und für jede darin mögliche Ausprägung eine Visualisierung zu finden, die möglichst allen zuvor definierten Anforderungen genügt. Durch die Vielzahl der Eigenschaften und Ausprägungen ist es schwierig eine besonders einfache Visualisierung zu erarbeiten. Demnach müssen hinsichtlich der Anforderung der Einfachheit Abstriche gemacht werden. Die Aktivitätsdauer, die in jeder der Katalogklassen vorgesehen ist, kann über die Länge der Aktivität im Zeitstrahl visualisiert werden. Hierzu wird empfohlen die genaue zeitliche Dauer zu visualisieren, auch wenn die Aktivitätsdauer gemäß dem Katalog ebenfalls in Ausprägungen zusammengefasst wird. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten die bis zu sechs Eigenschaften (exklusive der Aktivitätsdauer) und bis zu 19 Ausprägungen (zur Eigenschaft Fixationsobjekt der Katalogklasse I) der Katalogklassen zu visualisieren. Solange die Anzahl der unterschiedlich darzustellenden Eigenschaften bzw. Ausprägungen nicht zu hoch ist, kann eine Unterscheidung über Farbtöne getätigt werden. Wird eine Visualisierung in schwarz-weiß angestrebt, kann alternativ auf unterschiedliche Grautöne oder eine verschiedenartige Schraffur zurückgegriffen werden. Intensitäten oder Werte können bspw. über Sättigungen der Farbtöne oder unterschiedliche Ausfüllhöhen der Objekte (z.B. Kästchen) dargestellt werden. Weitere Informationen können über die Position des Kästchens vermittelt werden, indem die Kästchen auf, über oder unter einer Mittellinie visualisiert werden (vgl. Abbildung 24). Bezugnehmend auf die Anforderungen der Einfachheit, aber auch der Relevanz muss geprüft werden, ob alle möglichen Informationen in der Visualisierungsmethode dargestellt werden sollen. Die Anforderung nach einer platzsparenden Methode und die Festlegung, dass die Aktivitätsdauer über die Länge der Objekte dargestellt wird, kann dazu führen, dass die einzelnen Aktivitäten auf sehr kleinem Raum dargestellt werden müssen. Reicht der Platz nicht aus, um alle nötigen Informationen darzustellen, kann analog der Vorgehensweise bei Konstruktionszeichnungen bzgl. sog. „Einzelheiten“ ein vergrößerter Ausschnitt (vgl. Hoischen und Fritz (2014)) neben der eigentlichen Zeitleiste dargestellt werden.

Die nachfolgenden Details der Visualisierung der weiteren Eigenschaften und Ausprägungen beziehen sich auf die ersten vier (Katalogklasse I, Q, L und S) der insgesamt sechs Katalogklassen, sind grundsätzlich jedoch auch auf die restlichen beiden (Katalogklassen U und N) anwendbar.

Die *Katalogklasse I* umfasst sechs Eigenschaften und die detailreichste Eigenschaft Fixationsobjekt umfasst insgesamt 19 mögliche Ausprägungen. Die horizontale bzw. vertikale Kopfdrehungsrichtung kann über Pfeile und die Winkel der jeweiligen Drehungen mit Zahlen zwischen 1 und 5 dargestellt werden. Liegt nur eine horizontale oder vertikale Kopfdrehung vor, wird nur der jeweilige Pfeil

dargestellt. Einen Auszug der möglichen Kombinationen, bei dem relevante Beispiele dargestellt sind, zeigt Abbildung 19. Dabei zeigt das Beispielkästchen 1 eine horizontale Kopfdrehung nach links mit einem Winkel im Wertebereich 2. Das Kästchen 5 steht für eine horizontale Drehung nach links mit einem Winkel im Wertebereich 1 mit einer vertikalen Kopfdrehung nach oben im Wertebereich 5. Gibt es weder eine horizontale noch eine vertikale Drehung, kann eine „0“ in das Kästchen eingetragen werden (siehe Beispielkästchen 9). Ist der Winkel der Drehung unbekannt, kann ein „x“ eingetragen werden (siehe Beispielkästchen 10). Ist zwar bekannt, dass eine Drehung vorliegt, aber gibt es keine Werte bzgl. des Winkels der Drehung, kann ein „x“ an den jeweiligen Pfeil geschrieben werden (siehe Kästchen 11 aus Abbildung 19)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
								0	x	

Abbildung 19: Auszug von elf Möglichkeiten zur Visualisierung der Kopfdrehung (nummerierte Kästchen, beispielhafte Erläuterungen können dem Text entnommen werden)

Die Information des Fixationsraums kann über einen Farbton und teilweise in Kombination mit einer Position der farblichen Füllung des Kästchens dargestellt werden. Abbildung 20 zeigt dazu die Festlegung für den Fixationsraum Frontscheibe (Farbton orange), Abbildung 21 für den Fixationsraum Seitenscheibe (Farbton blau für die linken bzw. grün für die rechten Seitenscheiben und jeweils der hellere Farbton für die vordere und der dunklere Farbton für die hintere Seitenscheibe), Abbildung 22 für den Fixationsraum Spiegel (Farbton rot) und Abbildung 23 für den Fixationsraum Armaturen (Farbton gelb).

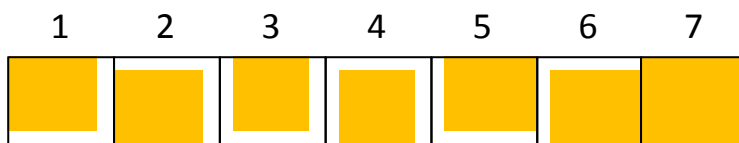


Abbildung 20: Darstellung der Visualisierung der insg. sieben Ausprägungen zum Fixationsraum Frontscheibe (Farbton orange) - links oben (1), links unten (2), mittig oben (3), mittig unten (4), rechts oben (5), rechts unten (6) und unbekannt (7)

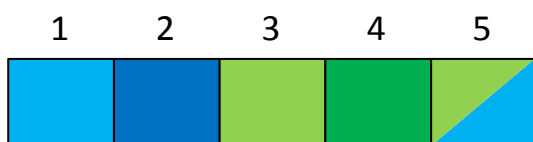


Abbildung 21: Darstellung der Visualisierung der insg. fünf Ausprägungen zum Fixationsraum Seitenscheibe (Farbton blau bzw. grün) - vordere links (1), hintere links (2), vordere rechts (3), hintere rechts (4) und unbekannt (5)

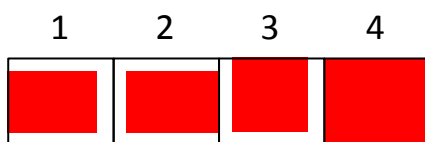


Abbildung 22: Darstellung der Visualisierung der insg. vier Ausprägungen zum Fixationsraum Spiegel (Farbton rot) - Außenspiegel links (1), Außenspiegel rechts (2), Innenspiegel (3) und unbekannt (4)

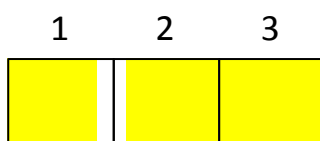


Abbildung 23: Darstellung der Visualisierung der insg. drei Ausprägungen zum Fixationsraum Armaturen (Farbton gelb) - Instrumententafel (1), Infotainment (2), und unbekannt (3)

Durch die sehr hohe Anzahl der Ausprägungen der Eigenschaft Fixationsobjekt ist es nicht zielführend über die bisher verwendeten Visualisierungsmöglichkeiten oder Symbole die Information zu visualisieren. Es wird festgelegt, dass für diesen Sonderfall eine Abkürzung des Ausprägungsnamens unter das Kästchen mit den anderen Informationen über die Aktivität geschrieben werden soll. Dabei wird bei unbekanntem Fixationsobjekt auf die Beschriftung verzichtet. In Anhang C können die Abkürzungen und Beispielbeschriftungen der Kästchen gefunden werden.

Bei der Visualisierung der Katalogklasse I wird demnach die Kopfdrehung über Pfeile für die Richtung und Zahlen für den Wertebereich des Drehungswinkels beschrieben. Der Fixationsraum wird über eine Kombination aus Farbton und Position der Ausfüllung des Kästchens dargestellt, während die Fixationsobjekte aufgrund der Vielzahl an Möglichkeiten als Abkürzung unter das Kästchen geschrieben werden.

Bei der *Katalogklasse Q* müssen ebenfalls sechs Eigenschaften mit maximal bis zu neun Ausprägungen visualisiert werden. Die Information zur Handwahl wird bei der Visualisierung über die Angabe von Buchstaben unter der linken unteren Ecke des Kästchens gelöst. Für die linke Hand wird ein „L“, für die rechte ein „R“, für beide Hände ein „LR“, für keine Hand ein „k“ und für den Fall, dass die Information nicht vorliegt ein „x“ dargestellt. Bezogen auf die Aktionen der Hand stellen die Ausprägungen 3, 4 und 5 die wichtigsten dar, weshalb auf diese zuerst eingegangen wird. Die Information zu den drei genannten Ausprägungen wird über die Position des Kästchens visualisiert. Ein konstantes Halten des Lenkrads wird dabei über ein zentral positioniertes Kästchen dargestellt, eine Drehung nach links durch ein Kästchen über der Mittellinie und eine Drehung nach rechts durch ein Kästchen unter der Mittellinie. Abbildung 24 verdeutlicht diese Grundidee.

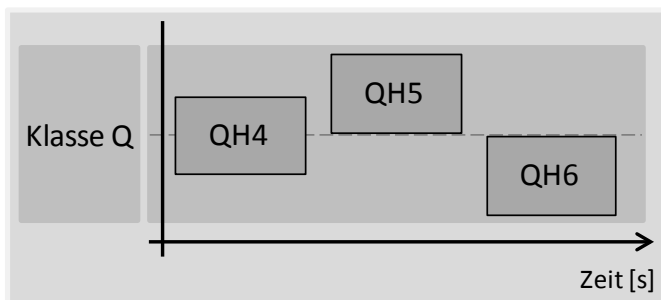


Abbildung 24: Verdeutlichung der Grundidee eine Richtungsinformation über die Positionierung des Kästchens darzustellen am Beispiels der Eigenschaft Aktion Hand der Katalogklasse Q

Die weiteren Ausprägungen der Eigenschaft Aktion Hand werden über passende Piktogramme in einem zentral positionierten Kästchen dargestellt (siehe Anhang D). Die Bewegungsgeschwindigkeit stellt die nächste Eigenschaft dar und verfügt über insg. acht Ausprägungen. Diese werden über insg. acht Farbtöne dargestellt. Abbildung 25 zeigt die gewählten Farbtöne. Zur besseren Deutlichkeit kann bei Bedarf noch der Ausprägungswert ergänzend in der linken oberen Ecke des Kästchens dargestellt werden.

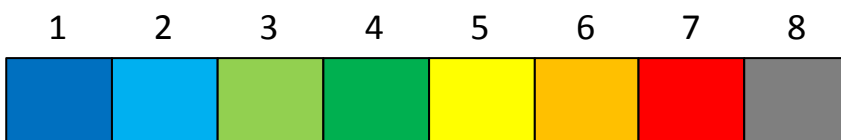


Abbildung 25: Farbtöne der Eigenschaft Bewegungsgeschwindigkeit der Katalogklasse Q (nummerierte Kästchen, von links niedrig bis rechts hoch, wobei das achte Kästchen die Ausprägung unbekannt darstellt)

Die unterschiedlichen Ausprägungen der Lenkradwinkelveränderung werden über die Höhe der Ausfüllung des Kästchens dargestellt. Abbildung 26 zeigt die unterschiedlichen Höhen und veranschaulicht zudem, wie eine unbekannte Lenkradwinkelveränderung (neuntes Kästchen) dargestellt wird. Sofern gewünscht, kann der Ausprägungswert der Lenkradwinkelveränderung ergänzend in der rechten oberen Ecke des Kästchens dargestellt werden.

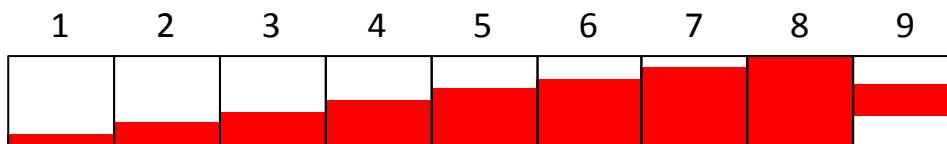


Abbildung 26: Ausfüllungshöhe der Eigenschaft Lenkradwinkelveränderung bei einer Drehung nach links der Katalogklasse Q (nummerierte Kästchen, von links gering bis rechts hoch, wobei das neunte Kästchen die Ausprägung unbekannt darstellt) in einem der Farbtöne aus Abbildung 25

Der Bereich und der Wert der Ausgangsposition des Lenkrads kann über eine Beschriftung im rechten Bereich unterhalb des Kästchens dargestellt werden. Für den positiven Bereich kann ein „+“, für den negativen ein „-“ und für den neutralen Bereich ein „o“ verwendet werden. Der Wert der Ausgangsposition kann über die Ausprägungsnummer dargestellt werden. Alternativ wäre auch die Angabe des Wertebereichs der Ausgangsposition denkbar.

Zusammenfassend kann für Katalogklasse Q festgehalten werden, dass die Handwahl links unten über Buchstaben, die Aktion der Hand über ein Piktogramm oder die Positionierung des Kästchens, die Bewegungsgeschwindigkeit über den Farbton, die Lenkradwinkelveränderung über die Füllhöhe des Kästchens und der Bereich und Wert der Ausgangsposition über eine Beschriftung rechts unten visualisiert werden. Eine Auswahl zu den möglichen Kombinationen bei der Visualisierung zur Katalogklasse Q kann in Anhang E gefunden werden.

Für die *Katalogklasse L* gilt es zu Beginn die Visualisierung der Eigenschaft des Pedals zu definieren. Die beiden Ausprägungen sollen abgekürzt als Buchstaben im Kästchen dargestellt werden. Dabei wird das Gaspedal über ein „G“ und das Bremspedal über ein „B“ visualisiert. Bzgl. der Bewegung des rechten Fußes (Eigenschaft A) wird analog dem Vorgehen bei der Katalogklasse Q der Fokus auf die drei wichtigsten Ausprägungen annähernd konstant halten (A2), positiv betätigen (A3) und negativ betätigen (A4) gelegt. Analog der Umsetzung bei Klasse Q werden die drei Ausprägung über die Position auf, über oder unter der Mittellinie dargestellt (vgl. Abbildung 24). Die restlichen beiden Ausprägungen werden mit Hilfe von Piktogrammen und in Verbindung mit der mittleren Position des Kästchens dargestellt (vgl. Klasse Q und siehe Anhang F). Die Bewegungsgeschwindigkeit der Pedalbewegung, die Ausgangspedalstellung und der Weg der Pedalbewegung werden ebenfalls vergleichbar dem Vorgehen bei Katalogklasse Q über Farbtöne, eine Beschriftung mittig unter dem Kästchen und die Höhe der Ausfüllung des Kästchens visualisiert. Abbildung 27 zeigt einen beispielhafte Zeitleiste mit Aktivitäten der Katalogklasse L.

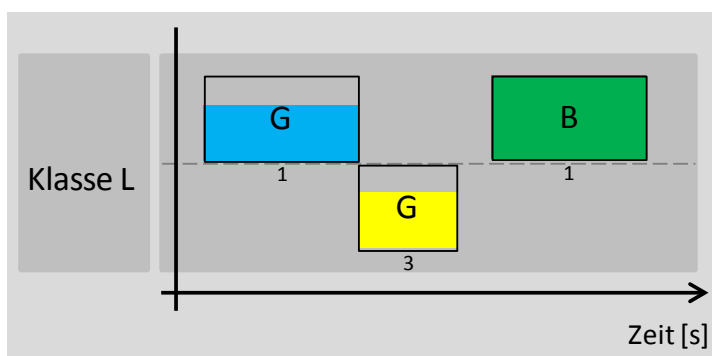


Abbildung 27: Beispiel einer Zeitleiste der Katalogklasse L mit drei Aktivitäten (Gas geben, vom Gas gehen und Bremsen)

Die Visualisierung der Aktivitäten aus Katalogklasse L orientiert sich zusammengefasst stark an den Festlegungen zu Katalogklasse Q. Lediglich für die Eigenschaft zur Beschreibung, welches der beiden möglichen Pedale betätigt wird, ist neu gestaltet.

Durch die Tatsache, dass *Katalogklasse S* nur über zwei eigentliche Eigenschaften (das Signal und im Falle des Fahrtrichtungsanzeigers noch die Richtung), dabei nur vier zu unterscheidende Signale und dazu maximal drei Ausprägungen verfügt, gestaltet sich die Visualisierung recht einfach. Die

Unterscheidung des Signals kann über eine Farbcodierung geschehen - dazu müssen vier Farbtöne vorgesehen werden. Die Ausprägungen zu den Signalen können über die Sättigung des Farbtons codiert werden. Während eine geringe Sättigung das Deaktivieren darstellt, wird über eine hohe Sättigung das Aktivieren dargestellt. Beim Signal Fahrtrichtungsanzeiger kann über eine mittlere Sättigung ein Antippen visualisiert werden. Die zweite Eigenschaft des Fahrtrichtungsanzeigers, die Richtung, kann analog des Vorgehens bei Klasse Q bzw. L über eine Verschiebung über oder unter die Mittellage verdeutlicht werden. Abbildung 28 zeigt alle Möglichkeiten zur Katalogklasse S.

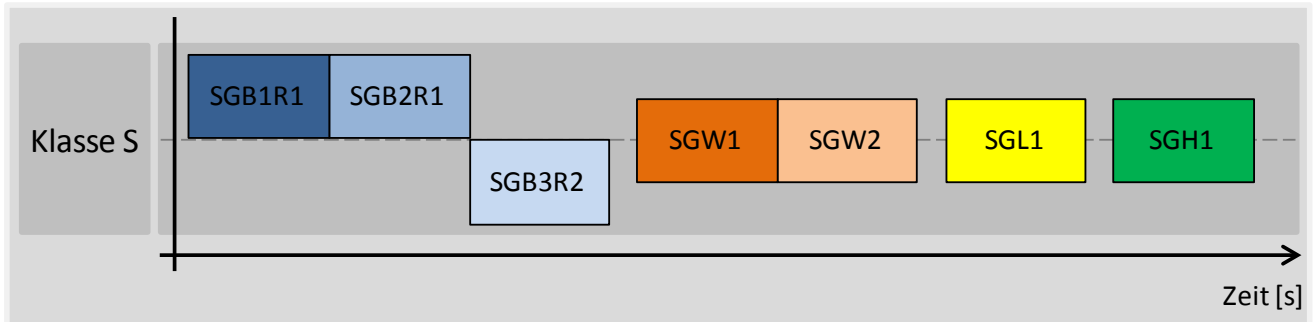


Abbildung 28: Visualisierung der Eigenschaften und Ausprägungen der Katalogklasse S (zur Verdeutlichung werden die entsprechenden Codes der Aktivität mit angegeben)

Die Aktivitäten der Klasse S können demnach über unterschiedliche Farbtöne und im Fall des Fahrtrichtungsanzeigers noch zusätzlich über die Position des Kästchens bezogen auf die Mittellinie visualisiert werden.

In Kapitel 3.2.3 wurden Anforderungen an eine Visualisierungsmethode zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers ermittelt und danach die Visualisierung der Katalogklassen visuelle Informationsaufnahme, Querführung, Längsführung und Signalgebung definiert. In der Visualisierungsmethode werden die Eigenschaften und Ausprägungen der Katalogklassen über Farbtöne, Sättigungen der Farbtöne, Füllhöhen der darzustellenden Kästchen, die Position der Füllung des Kästchens, die Position des Kästchen in Bezug auf eine Mittellinie, Pfeile, Piktogramme und kurze Beschriftungen dargestellt. In den Anhängen C, D, E und F sind weitere Beispiele der Visualisierung zu finden. Eine beispielhafte Anwendung der entwickelten Visualisierungsmethode wird in Kapitel 5.1.3 vorgenommen.

3.3. Beschreibung des Vorgehens zur Aktivitätsanalyse

Nachdem der Katalog in Kapitel 3.2.2 aufgestellt wurde, soll im Folgenden das Vorgehen zur Nutzung des Katalogs zur Analyse von Aktivitäten mitsamt der zu beachtenden Regeln dargestellt werden. Vorab sollen die Rahmenbedingungen und zugehörigen Einschränkungen bezogen auf den Aktivitätskatalog genannt werden.

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 angerissen, gibt es *Rahmenbedingungen* des Katalogs, die den Geltungsbereich eingrenzen (vgl. auch Kapitel 3.2). Der Katalog besitzt demnach Gültigkeit für PKW ohne spezielle Sonderausstattungen. Verfügt der PKW bspw. über ein Automatikgetriebe mit Schaltwippen, so müssten die Ausprägungen der Aktivitäten-Eigenschaft der rechten Hand der Katalogklasse U angepasst werden. Als ein weiteres Beispiel kann genannt werden, dass beim Vorhandensein besonderer Fahrerassistenzsysteme die Eigenschaften der Klasse N erweitert werden müssten. Zudem wurde der Katalog für ein linkslenkendes Fahrzeug aufgestellt. Soll eine Analyse eines rechtslenkenden Fahrzeugs durchgeführt werden, müssen entsprechend einzelne Eigenschaften bzw. Ausprägungen verändert werden. Die Auswirkungen der genannten Rahmenbedingungen werden in Kapitel 5.2 nochmals aufgegriffen.

Für die Nutzung des Katalogs gilt es *Regeln* festzulegen, da über präzise Regeln Objektivität bei der Anwendung sichergestellt werden kann (vgl. Gründl (2016)). Die Aktivitätsanalyse könnte theoretisch extrem detailliert und auf höchstem Detailniveau durchgeführt werden, um feinste Unterschiede im Verhalten aufdecken zu können. Dies birgt jedoch die Gefahr, dass das Gesamtbild des Verhaltens durch kleinste Aktivitäten unübersichtlich bzw. unscharf wird, da die kleinsten Aktivitäten ein Übergewicht bekommen können und so die geplanten Analysen nicht zu den erwarteten bzw. gewünschten Ergebnissen führen. Es ist demnach wichtig - auch angelehnt an die Anforderungen bzgl. des Detailgrads, der Komplexität und der damit einhergehenden Echtzeitfähigkeit (vgl. Kapitel 3.2.1) - Regeln bzgl. der Mindestanforderungen an eine Aktivität aufzustellen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass diese Regeln je nach Anwendungsfall variieren können. Nachfolgend werden die Regeln hergeleitet und beschrieben, die im weiteren Verlauf der Arbeit beachtet werden.

Um der angesprochenen Unübersichtlichkeit durch die Aufnahme kleinster Aktivitäten entgegenzuwirken, wird eine Mindest-Aktivitätsdauer gefordert. Für die Analyse des Blickverhaltens gemäß Katalogklasse I wird die mindestens geforderte Aktivitätsdauer, angelehnt an die Feststellungen von Lindsay und Norman (1972), zitiert nach Bubb (2015a), dass 0,15s bis 0,25s als Mindestdarbietungszeit für die Erkennung eines Sehobjekts nötig ist, auf 0,15s festgelegt. Kürzere Messsignale, die u.U. fälschlicherweise als Fixation interpretiert werden könnten, werden bei der Datenaufbereitung (siehe Kapitel 4.3) nicht berücksichtigt. Für die Klassen L und Q wird als Kriterium für die Aufnahme einer Aktivität eine kombinierte Regel festgelegt. Die Mindest-Aktivitätsdauer wird auf 0,5s gesetzt, damit die Anzahl der zu betrachtenden Aktivitäten in einem überschaubaren Maß bleibt. Diese Regel wird jedoch überstimmt und dadurch außer Kraft gesetzt, wenn bei der Querführung eine Lenkradwinkelveränderung von über 2° (angelehnt an die Erkenntnisse von Meyer (2008) und Wierwille und Gutmann (1978)) vorliegt, um auch zeitlich zwar kurze, aber dennoch relevante - weil deutliche - Lenkradbewegungen zu betrachten. Im Fall der Längsführung wird angelehnt an die vorherige Festlegung ein Pedalweg von mindestens 2% als Kriterium definiert, dass eine Aktivität bei der Analyse mit einbezogen wird, obwohl die Dauer der Aktivität unter der Mindestforderung von 0,5s liegt. Für die Katalogklassen bzgl. der Signalgebung, der Schaltvorgänge und der „Sonstigen Aktivitäten“ werden für den weiteren Verlauf dieser Arbeit keine gesonderten Regeln festgelegt. Je nach Anwendungsfall kann dies u.U. jedoch auch in Betracht gezogen werden. Als eine grundsätzliche Regel wird aufgenommen, dass eine Mindestanforderung an die Datenqualität hinsichtlich Datenlücken oder Messrauschen gestellt wird, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu wahren. Ist die Datenqualität zu niedrig, ist aus wissenschaftlicher Sicht eine Nutzung der Daten als kritisch einzustufen und muss hinterfragt werden. Die Festlegung bzgl. der Mindestanforderung an die Datenqualität hängt sehr stark vom Anwendungsfall ab und kann hier nicht pauschal definiert werden. Bzgl. der beispielhaften Anwendung finden sich Details zu diesem Punkt in Kapitel 4.3.

Die eigentliche *Nutzung* des Katalogs zur Analyse von Aktivitäten eines Fahrzeugführers umfasst eine Datenerhebung, die Datenaufbereitung inkl. der Festlegung der zu betrachtenden Zeitspanne des Fahrerverhaltens und die Datenanalyse inkl. der eigentlichen Identifikation der Aktivitäten gemäß der Festlegung zu den Katalogklassen.

Bezogen auf die *Datenerhebung* muss darauf geachtet werden, dass möglichst viele der relevanten Messgrößen der enthaltenen Eigenschaften des Katalogs in den Versuchen vorgesehen werden. Tabelle 16 zeigt die Messgrößen zu den jeweiligen Eigenschaften der Katalogklassen I, Q, L, S und U, gibt Hinweise, wie hoch die Priorität der Messgröße für die Analyse des Fahrerverhaltens hinsichtlich einer Vorhersage des zukünftigen Fahrerverhaltens eigenständig eingeschätzt wird und wie die Messgrößen erhoben werden können. Die Inhalte zur Katalogklasse N werden aufgrund der Vielzahl an möglichen Eigenschaften und Ausprägungen und den damit verbundenen Messmöglichkeiten nicht dargestellt. Details zur Datenerhebung, auf der die Analyse dieser Arbeit beruht, können Kapitel 4.2 entnommen werden.

Tabelle 16: Details zu den Messgrößen der Eigenschaften der Katalogklassen I, Q, L, S und U, Aussage zur Einschätzung der Priorität der Messgröße und zu den Möglichkeiten der Erhebung

Katalog- klasse	Messgröße der Eigenschaften aus dem Katalog	Priorität (eigene Einschätzung)	Möglichkeit der Erhebung
Visuelle Informations- aufnahme (I)	Richtung horizontale Kopfdrehung	Mittel	Eye-Tracking-System, ggf. Kamera
	Winkel horizontale Kopfdrehung		
	Richtung vertikale Kopfdrehung	Niedrig	
	Winkel vertikale Kopfdrehung		
	Fixationsraum (fahrzeugfeste AOI)	Hoch	Eye-Tracking-System
	Fixationsobjekt (bewegliche AOI)	Mittel	
	Aktivitätsdauer	Hoch	
Querführung (Q)	Handwahl	Niedrig	Kamera
	Aktion Hände	Hoch (v.a. Ausprägung 4, 5, 6), sonst mittel	Kamera, ggf. Lenkrsensorik
	Bewegungsgeschwindigkeit	Hoch	CAN-Bus
	Lenkradwinkelveränderung		CAN-Bus, ggf. Kamera
	Bereich Ausgangsposition		
	Wert Ausgangsposition		CAN-Bus
	Aktivitätsdauer		
Längsführung (L)	Pedal	Hoch	CAN-Bus, ggf. Kamera
	Bewegung rechter Fuß	Hoch (v.a. Ausprägung 2, 3, 4), sonst mittel	
	Bewegungsgeschwindigkeit	Hoch	CAN-Bus
	Ausgangspedalstellung		
	Weg Pedalbewegung		
	Aktivitätsdauer		
Signalgebung (S)	Fahrtrichtungsanzeiger	Hoch	CAN-Bus
	Richtung (Fahrtrichtungsanzeiger)		
	Warnblinker	Mittel	
	Lichthupe	Niedrig	
	Hupe		
	Aktivitätsdauer	Hoch	
Schalt- vorgang (U)	Automatikgetriebe		CAN-Bus, Kamera
	Aktion Hand (rechts)	Hoch	
	Manuelles Getriebe		
	Aktion Fuß (links)	Mittel	
	Aktion Hand (rechts)	Hoch	

Bzgl. der *Datenaufbereitung* sollte in einem ersten Schritt die Synchronität der Versuchsdaten überprüft werden. Wurden mit Hilfe unterschiedlicher Systeme Daten erhoben, die aber letztlich gemeinsam analysiert werden sollen, ist es entscheidend, dass die Daten zeitlich synchron vorliegen. Andernfalls kann es zu fehlerhaften Ergebnissen der Analyse kommen, da die zeitlichen Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Messgrößen und damit auch unterschiedlichen Aktivitäten nicht korrekt sind. Zudem kann es nötig werden, die erhobenen Messdaten zu glätten, in dem ein Filter angewendet wird. Über eine Glättung ist es möglich sehr empfindliche Daten auch hinsichtlich eines Messrauschens für die weitere Verarbeitung oder Analyse vorzubereiten. Je nach angedachtem Anwendungsfall gilt es zudem in der Datenaufbereitung relevante Datenpunkte für die Datenanalyse zu markieren. Dies wird auch als Setzen von sog. Daten-Flags bezeichnet. Sollen Analysen bspw. zu bestimmten Fahrmanövern durchgeführt werden, ist es wichtig den Beginn und ggf. das Ende des Fahrmanövers festzulegen. Nachdem die Flags gesetzt sind, kann in einem weiteren Schritt definiert werden, welcher Ausschnitt der Versuchsdaten analysiert werden soll. Die diesbezüglichen Festlegungen können bspw. eine

bestimmte Dauer vor dem definierten Manöverbeginn und eine bestimmte Dauer nach diesem umfassen.

In der *Datenanalyse* werden die Versuchsdaten, die mit Hilfe der Messmethoden erhoben wurden, innerhalb der festgelegten Zeitspanne genau betrachtet. Unter Berücksichtigung des Katalogs (Kapitel 3.2.2) und der festgelegten Regeln der Nutzung des Katalogs können auf Grundlage der Daten die Aktivitäten des Fahrzeugführers identifiziert werden. Hierzu ist es sinnvoll die identifizierten Aktivitäten mit den relevanten Details und inkl. des Zeitstempels bezogen auf die Versuchsfahrt in einer Tabellenform zusammenzutragen. Für eine einfache Weiterverarbeitung der ermittelten Aktivitäten ist es sinnvoll den im Katalog vorgesehenen Code der einzelnen Aktivitäten zu verwenden und in der Tabelle aufzunehmen. Die Umfänge und Details der Datenaufbereitung sind kombiniert mit den Inhalten zur Datenanalyse in Kapitel 4.3 dargestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es bei der Aktivitätsanalyse wichtig ist Rahmenbedingungen und Regeln zu beachten und dass bezogen auf die Nutzung der Methode folgende drei Punkte wichtig sind: die Datenerhebung, die Datenaufbereitung und die Datenanalyse. Zu allen diesen Punkten wurden in diesem Kapitel relevante Punkte vorgestellt.

3.4. Fazit zur Methodik der Aktivitätsanalyse

In Kapitel 3 wurde eine Methode entwickelt, mit der Fahrerverhalten auf Basis von Aktivitäten beschrieben und analysiert werden kann. Dazu wurde zunächst in Kapitel 3.1 ein Fahrerverhaltensmodell abgeleitet, welches Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten zusammenfasst und auch Phasen des Fahrerverhaltens und deren Beziehung zueinander zeigt. In Kapitel 3.2 wurde die eigentliche Beschreibungsmethode zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers erarbeitet. Zu dieser wurden zunächst Anforderungen aufgestellt (Kapitel 3.2.1), bevor in Kapitel 3.2.2 der Aktivitätskatalog erstellt wurde. Dieser umfasst insgesamt sechs Katalogklassen (visuelle Informationsaufnahme, Querführung, Längsführung, Signalgebung, Schaltvorgänge und sonstige Aktivitäten), zu denen jeweils Eigenschaften und Ausprägungen auf Basis von Literaturangaben bestimmt wurden. Eine Übersicht zu den einzelnen Katalogklassen zeigt Anhang B. Mit der Beschreibungsmethode kann ein zu erwartendes Verhalten zu bspw. einem Manöver beschrieben werden. Dieses kann im Anschluss mit einem beobachteten Verhalten, welches bspw. in Fahrversuchen erhoben wurde, verglichen werden. Über diesen Vergleich ist es möglich Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede zwischen erwartetem und beobachtetem Verhalten zu identifizieren. Treten deutliche Unterschiede auf und werden bspw. sehr wichtige Aktivitäten nicht gezeigt, kann dies u.U. ein Indiz für eine Ablenkung bzw. einen vermeintlichen anderen „Fehler“ des Fahrers sein. Diese Information könnte in einem Fahrerassistenzsystem gezielt genutzt werden, um den Fahrer bestmöglich unterstützen zu können. In Kapitel 3.2.3 wurde zudem ein Visualisierungsansatz zur Beschreibungssprache des Aktivitätskatalogs entwickelt. Kapitel 3.3 zeigte auf, wie bzgl. der Aktivitätsanalyse vorgegangen werden muss. Nachdem die Beschreibungsmethode hergeleitet wurde, bedarf es einer beispielhaften Anwendung, um die Eignung der Methode prüfen zu können (vgl. Zielsetzung in Kapitel 1.2 bzw. Kapitel 2.6). Von dieser beispielhaften Anwendung handelt das folgende Kapitel 4.

4. Beispielhafte Anwendung der Aktivitätsanalyse zum Manöver Fahrstreifenwechsel

In Kapitel 4 wird die in Kapitel 3 erarbeitete Beschreibungsmethode beispielhaft angewendet. Dies wird anhand eines Beispielmanövers durchgeführt. Aus der Vielzahl an denkbaren Manövern (vgl. Kapitel 2.3) wird dazu das Manöver Fahrstreifenwechsel ausgewählt (siehe dazu auch Kapitel 1.2). Ein Grund dafür kann in der Komplexität des Manövers gefunden werden. Betrachtet man die aufgestellten Katalogklassen, wird schnell ersichtlich, dass Aktivitäten der visuellen Informationsaufnahme, der Querverführung und der Signalgebung bei dem Manöver eine große Rolle spielen (vgl. auch Schneider (2009)). Zudem kann auch ein gewisser Anteil an Aktivitäten der Längsführung im Manöver vermutet werden. Gerade bezogen auf die Analyse von Aktivitäten der visuellen Informationsaufnahme zeichnet sich der Fahrstreifenwechsel als sehr geeignet für die beispielhafte Anwendung aus, da Spiegel- und Schulterblicke normalerweise enthalten sind. Des Weiteren wird die Durchführung eines Fahrstreifenwechsels in modernen Fahrzeugen auch durch Assistenzsysteme unterstützt (vgl. Kapitel 2.4), wodurch ein gesteigertes Wissen über das Verhalten des Fahrzeugführers während dieses Manövers einen Mehrwert hinsichtlich der Akzeptanz bzw. des Warndilemmas (vgl. Kapitel 1.1) haben kann. Auch aus unfallstatistischer Sicht hat der Fahrstreifenwechsel eine gewisse Relevanz (vgl. Destatis (2015) und Henning (2010)) und gemäß Fastenmeier und Gstalter (2008) haben ältere Fahrzeugführer häufiger Probleme bei der Bewältigung der „schwierigen, in der Regel zeitkritischen“ Aufgabe den Fahrstreifen zu wechseln. Zum gewählten Manöver Fahrstreifenwechsel wird noch eine Eingrenzung hinsichtlich der Richtung und des Geschwindigkeitsbereichs getätigt, damit ein klar definierter Anwendungsfall vorliegt. So werden bei der beispielhaften Anwendung nur Fahrstreifenwechsel nach links im Geschwindigkeitsbereich von innerstädtischem Verkehr (Zielgeschwindigkeit: 50km/h) betrachtet.

Passend zur Beantwortung der Forschungsfrage 3 und teilweise auch zu Forschungsfrage 2 (vgl. Kapitel 2.6) dient die beispielhafte Anwendung dazu, die positiven Zwischenergebnisse zur Methode aus Langer et al. (2015b) weiter zu analysieren bzw. die noch vorhandenen Optimierungspotentiale der Methode aufzudecken. Auch die in Kapitel 3.2.3 entwickelte Visualisierungsmethode soll im Rahmen der beispielhaften Anwendung genutzt, bewertet und kritisch hinterfragt werden. Zudem sollen zum Beispielmanöver typische Aktivitäten identifiziert werden, um die in der Beschreibungsmethode definierten Ausprägungen der Eigenschaften inkl. der Grenzwerte der Ausprägungen analysieren und hinterfragen zu können. Die Übersicht der typischen bzw. häufig auftretenden Aktivitäten kann ergänzend helfen, ein Gesamtbild des Verhaltens beim Beispielmanöver zu ermitteln, welches für die gezielte Entwicklung von fahreradaptiven Assistenzsystemen genutzt werden kann (vgl. Kapitel 2.4 und siehe dazu auch Kapitel 1.1).

Im Rahmen der beispielhaften Anwendung werden in Kapitel 4.1 Hypothesen erarbeitet, die das Verhalten der Probanden auf Basis der Aktivitätsbetrachtung widerspiegeln sollen. Dabei ist es wichtig zu betonen, dass die Hypothesen nicht von einem idealisierten Verhalten der Probanden handeln, sondern das real zu erwartende Verhalten im Fokus steht. Bisherige Ansätze der Beschreibung des Fahrerverhaltens haben die Schwachstelle, dass ein idealisiertes Verhalten dargestellt wird bzw. ein prototypischer Ablauf im Rahmen einer Fahrausbildung thematisiert wird. Begründet in Anpassungen während der stetig wachsenden Fahrerfahrung ist es jedoch unwahrscheinlich, dass dieser idealisierte Ablauf als realistisch angesehen werden kann.

Letztlich ist es kaum möglich ein „Gesamtverhalten“ aus der Literatur abzuleiten, da gemäß der deduktiven Vorgehensweise in dieser Arbeit das idealisierte Verhalten nicht im Vordergrund stehen soll. Vielmehr ist es zielführend die eigentlich angestrebte Untersuchung des Gesamtverhaltens schrittweise anzugehen und dabei die Komplexität der Hypothesen stetig zu steigern. Zu einzelnen Aspekten des Gesamtverhaltens während des Manövers Fahrstreifenwechsel sind konkrete Aussagen zum realen Verhalten auf Basis der Beschreibungssprache möglich. Beispielsweise gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen der Betätigungsrate des Fahrstreifenwechsels. Auch zu weiteren charakteristischen Aktivitäten, die in der Literatur genannt werden, können typische Häufigkeitswerte ermittelt werden. Auf Basis von weiteren Literaturerkenntnissen ist es ergänzend möglich eine Aussage

zur potentiellen Reihenfolge verschiedener Aktivitäten zu machen. Unter Verwendung der Beschreibungssprache der Aktivitäten können dazu Hypothesen erarbeitet werden. Zudem ist es hierbei spannend zu untersuchen, ob sich teilweise früh gelernte partielle Verhaltensmuster aus der Fahrausbildung doch im realen Verhalten wiederfinden lassen. Hinsichtlich des Vorhersagehorizonts eines Algorithmus ist die Analyse des zeitlichen Bezugs der charakteristischen Aktivitäten zum Manöverbeginn erstrebenswert. Treten die charakteristischen Aktivitäten bspw. sehr früh auf, kann sich dies positiv auf den Zeitpunkt einer möglichen Vorhersage auswirken. Um dabei belastbare Aussagen treffen zu können, bedarf es jedoch eines gleichmäßigen Verhaltens bei den Fahrern. Daher ist eine Aussage zur Gleichmäßigkeit ein wichtiger Aspekt des Gesamtverhaltens der Fahrer und sollte ebenfalls analysiert werden. Die Untersuchung der Gleichmäßigkeit im Verhalten besitzt einen weiteren Aspekt. Sofern sich ein gleichmäßiges real zu erwartendes Verhalten zeigt, kann mit Hilfe eines entsprechenden Algorithmus eine Abweichung von eben diesem Verhalten ermittelt werden. Betätigt ein Fahrer bspw. immer den Fahrtrichtungsanzeiger bei einem Fahrstreifenwechsel und detektiert das Fahrzeug eine Querbewegung ohne eine Fahrtrichtungsanzeigerbetätigung, könnte auch ein unbeabsichtigtes Verlassen des Fahrstreifens drohen und ein Assistenzsystem könnte eine entsprechende Warnung abgeben.

Über die einzelnen zu untersuchenden Aspekte (Vorhandensein, Reihenfolge, Zeitbezug und Gleichmäßigkeit der Aktivitäten) kann das eigentlich im Fokus stehende Gesamtverhalten in gewisser Weise über einzelne Aktivitätssequenzen doch untersucht werden (vgl. auch Kapitel 2.6). Als Ziel kann formuliert werden, dass aus den einzelnen Ergebnissen schrittweise die Identifikation eines realen (Gesamt-)Verhaltens möglich werden soll.

Des Weiteren beschreibt Kapitel 4.2 die Datenerhebung, auf der die Analysen beruhen - dazu werden die Versuche (Kapitel 4.2.1), die aus den Versuchen folgenden Einschränkungen hinsichtlich der Aktivitätsanalyse (Kapitel 4.2.2) und die Stichprobe (Kapitel 4.2.3) beschrieben. Die Datenaufbereitung und die eigentliche Analyse der erhobenen Daten ist Thema in Kapitel 4.3. Auf Basis der Datenanalyse können in Kapitel 4.4 die aufgestellten Hypothesen zu den Teilaspekten des Gesamtverhaltens überprüft werden.

4.1. Hypothesen zur Aktivitätsanalyse zum Manöver Fahrstreifenwechsel

Wie in der Einleitung von Kapitel 4 angedeutet, ist es nicht möglich eine Aussage zu einem real zu erwartenden Gesamtverhalten beim Fahrstreifenwechsel aus der Literatur abzuleiten. Es ist stattdessen nur möglich sich über die Kombination einzelner Aussagen zu Teilaspekten im Verhalten einem Gesamtverhalten schrittweise anzunähern. In der Literatur gibt es Aussagen zu charakteristischen Aktivitäten, die bei dem Manöver vorkommen. Über die Formulierung von entsprechenden Hypothesen in der entwickelten Beschreibungssprache können relevante charakteristische Aktivitäten in den Daten identifiziert werden. Dazu werden zuerst Literaturerkenntnisse recherchiert und auf Basis dieser Hypothesen in „Prosaform“ beschrieben. In einem nächsten Schritt werden die in der Hypothese vorhandenen relevanten Aspekte des Fahrerverhaltens in Aktivitäten überführt. Gemäß den Festlegungen des Aktivitätskatalogs werden dazu die zu den identifizierten Aktivitäten gehörenden Codes der Beschreibungssprache ermittelt und eine Suchlogik zur Analyse der Hypothese hergeleitet. Dabei ist zu beachten, dass nicht immer alle Details der Aktivität relevant sind. So kann es bspw. vorkommen, dass bei einer möglichen Fixation die damit verbundene Kopffrotation nicht relevant ist. Um diese Vereinfachung zu ermöglichen, wird bzgl. der Codes der Aktivitäten ein Platzhalter vorgesehen. Als Platzhalter wird ein „*“ (Stern-Symbol) gewählt. Taucht dieser Platzhalter anstelle der Ausprägungsnummer in den Codes auf, bedeutet dies, dass die jeweilige Eigenschaft der Aktivität für die zugrundeliegende Hypothese nicht relevant ist und die Ausprägungen entsprechend nicht zu prüfen sind.

Da die Aktivitätsanalyse zum Beispielmanöver Muster im Verhalten untersucht, bedarf es noch einer Festlegung einer jeweils mindestens geforderten Häufigkeit, damit ein Muster als bestätigt angesehen wird. Sofern es keine abweichenden Literaturangaben zur Häufigkeit der jeweiligen Aktivität oder zur jeweiligen Reihenfolgen-, Frühzeitigkeits- oder Gleichmäßigkeitshäufigkeit gibt, soll die Forderung bei 75% liegen. Dieser Wert wird gewählt, um auf der einen Seite eine recht eindeutige Verteilung zu

fordern, bevor von einem Verhaltensmuster gesprochen wird. Auf der anderen Seite lässt die zu erwartende Komplexität und Veränderlichkeit im menschlichen Verhalten (vgl. Kapitel 1.1) jedoch vermuten, dass noch höhere Werte ein zu ambitioniertes Ziel darstellen. Des Weiteren können auch bei 75% bereits interessante Erkenntnisse zum Fahrerverhalten geschlussfolgert werden.

Nachfolgend werden die Hypothesen hergeleitet. Die Komplexität der Hypothesen reicht von einfachen Hypothesen zu einzelnen Aktivitäten, die während des Betrachtungszeitraums stattfinden bis hin zu ausführlicheren Aktivitätssequenzen, die mehrere Klassen des Aktivitätskatalogs betreffen. Die Aufteilung der Hypothesen wird folgendermaßen durchgeführt: Hypothesen zu den betrachteten Katalogklassen (HK), Hypothesen zur Reihenfolge einzelner charakteristischer Aktivitäten (HR), Hypothesen zur Frühzeitigkeit einzelner charakteristischer Aktivitäten (HF) und Hypothesen zur Gleichmäßigkeit des Probandenverhaltens (HG). Es sei darauf hingewiesen, dass in den studentischen Abschlussarbeiten von Bauer (2016) und Sommer (2016) teilweise ähnliche Fragestellungen bearbeitet wurden. Nach der Herleitung jeder einzelnen Hypothese, wird die Überführung in die Beschreibungssprache zu den Aktivitäten (siehe Kapitel 3.2.2) dargestellt, indem die relevanten Codes und eine Suchlogik genannt werden. Am Ende jeder Gruppen von Hypothesen, wird zudem eine zusammenfassende Tabelle dargestellt, die die jeweiligen relevanten Aktivitäten-Codes gemäß dem Aktivitätskatalog und die Suchlogik der Hypothesen zeigt.

Hypothesen zu den betrachteten Katalogklassen (HK)

Da es sich beim Fahrstreifenwechsel um ein Manöver handelt, bei dem das Fahrzeug in Querrichtung bewegt wird, ist bzgl. der **visuellen Informationsaufnahme** die Absicherung der Umgebung um das eigene Fahrzeug sehr wichtig. So nehmen gemäß Doshi und Trivedi (2009) Blick- und Kopfbewegungen vor einem Fahrstreifenwechsel im Vergleich zu einem Halten des Fahrstreifens signifikant zu. Auch Henning (2010) identifiziert eine Steigerung der Blickanzahl in den linken Außenspiegel vor einem Fahrstreifenwechsel nach links. Olsen (2003) konnte ermitteln, dass in 72% der betrachteten Fahrstreifenwechsel nach links mindestens ein Blick zur Absicherung des Umfelds (in den linken Außenspiegel, die linke Seitenscheibe oder über die linke Schulter) stattfindet. Zudem wird auch der Innenspiegel gemäß Olsen (2003) bei bzw. vor einem Fahrstreifenwechsel etwa doppelt so häufig fixiert als bei einer Geradeausfahrt. Bzgl. der Häufigkeit von Spiegelblicken ermittelten Lee et al. (2004), dass bei einem Fahrstreifenwechsel nach links mit einer Wahrscheinlichkeit von 52% der Innenspiegel fixiert wird. Ebenso in 52% der Fälle findet mindestens einmalig eine Fixation des linken Außenspiegels statt. Gemäß Henning (2010) wird der Innenspiegel eher beim Fahrstreifenwechsel nach rechts fixiert, während beim Wechsel nach links der linke Außenspiegel relevant ist. Angelehnt an die zuvor dargestellten Literaturerkenntnisse werden folgende beiden Hypothesen aufgestellt:

- HK1: Der linke Außenspiegel wird beim Fahrstreifenwechsel nach links im Betrachtungszeitraum mindestens in 75% der Fälle einmalig fixiert
- HK2: Eine Fixation des Innenspiegels ist im Betrachtungszeitraum eine in mindestens 50% der Fälle auftretende Aktivität

Gemäß der Beschreibungssprache der entwickelten Methode bedarf es zur Klärung von Hypothese HK1 der Suche nach einer Aktivität der Klasse I, welche als Fixationsraum den linken Außenspiegel (Code RS1) hat. Da die anderen Eigenschaften der Aktivität nicht weiter zu spezifizieren sind, muss der Code `IK*W*V*N*RS1O*D*` in den aufbereiteten Daten des Manövers auftreten, damit der jeweils betrachtete Fall als positiver Fall gewertet werden kann. Bezüglich Hypothese HK2 ist nach dem Fixationsraum mit Code RS3 zu suchen. Analog zur vorherigen Hypothese spielen die weiteren Eigenschaften keine Rolle, weshalb der Code `IK*W*V*N*RS3O*D*` relevant ist.

Ein weiteres Indiz für einen bevorstehenden Fahrstreifenwechsel kann das Vorhandensein eines Schulterblicks darstellen. Gemäß Henning (2010) kommen Schulterblicke bei einer Geradeausfahrt quasi nie vor (vgl. Mourant und Donohue (1977), zitiert nach Lee et al. (2004)). Bei einem Fahrstreifenwechsel nach links kommen gemäß Olsen (2003) Blicke über die linke Schulter in ca. 30%

der Fälle vor. Henning (2010) konnte Schulterblicke in maximal 43% der betrachteten Fahrstreifenwechsel finden. Für die vorliegende Untersuchung wird auf Basis dieser Erkenntnisse folgende Hypothese formuliert:

HK3: Ein Blick über die linke Schulter kommt im Betrachtungszeitraum in mindestens 33% der Fahrstreifenwechsel nach links vor

Ein Blick über die Schulter wird in der entwickelten Beschreibungssprache durch Blicke in den Fixationsraum der Seitenscheibe repräsentiert. Die relevanten Ausprägungen innerhalb der Katalogklasse I sind die Seitenscheibe vorne links (Code RQ1) und die Seitenscheibe hinten links (Code RQ2). Für die Hypothese soll dann ein positiver Fall gewertet werden, wenn entweder der Code `IK*W*V*N*RQ1O*D*` oder `IK*W*V*N*RQ2O*D*` in den Daten vorhanden ist.

Gemäß Salvucci (2006) verändert sich das Verhältnis der Blickanteile im Übergang zwischen einer Phase vor dem eigentlichen Beginn des Fahrstreifenwechsels zur Phase während des Fahrstreifenwechsels. Während vor dem Manöver der Startfahrstreifen im Vergleich zum Zielfahrstreifen und dem Außenspiegel dominiert, ist der größte Blickanteil während dem Manöver auf dem Zielfahrstreifen (vgl. auch Erkenntnisse aus Salvucci und Liu (2002)). Da mit der Fixation eines benachbarten Fahrstreifens demnach u.U. eine Absicht zum Wechsel auf diesen einhergehen kann, soll dieser Sachverhalt auch in Form einer Hypothese getestet werden:

HK4: Bei einem Fahrstreifenwechsel nach links wird im Betrachtungszeitraum in mindestens 50% der Fälle vor dem Markierungsübertritt mindestens einmal der vorausliegende Zielfahrstreifen fixiert

In der Beschreibungssprache ist der Zielfahrstreifen als ein Fixationsobjekt innerhalb der Klassen zu Aktivitäten der visuellen Informationsaufnahme enthalten. Der entsprechende Code des Fixationsobjekts Zielfahrstreifen lautet OB7. Bzgl. Hypothese HK4 muss neben der Identifikation des gesuchten Codes `IK*W*V*N*RF*OB7D*` noch geprüft werden, ob die Aktivität vor dem Markierungsübertritt liegt, weshalb der Zeitpunkt der Aktivität mit dem Markierungsübertritt, der den Manöverbeginn repräsentiert, verglichen werden muss.

Bzgl. der **Querführung** während eines Fahrstreifenwechsels kann der absolute Lenkradwinkel während des Auslenkens betrachtet werden. In der Literatur gibt es verschiedene Werte, die auch immer vom jeweiligen Versuch abhängig sind. In den Versuchen von Sporrer et al. (1998) kommt es bei Fahrstreifenwechseln bei 100km/h Fahrgeschwindigkeit zu durchschnittlichen Werten von ca. 20° Lenkradwinkel. Bei einer Geschwindigkeitserhöhung auf 130km/h werden nur noch ca. 12° erreicht. Bei den Versuchen von Winsum et al. (1999) werden bei einer Fahrgeschwindigkeit von 50km/h Lenkradwinkel von ca. 13-15° erreicht. Ähnliche Werte ermitteln auch Berndt et al. (2008) auf der Autobahn. Lee et al. (2004) ermitteln einen durchschnittlichen maximalen Lenkradwinkel bei unterschiedlichen Formen eines Fahrstreifenwechsels von etwa 8° bei einer Standardabweichung von 10°. Angelehnt an die vorgestellten Werte und an die Betrachtung von Fahrstreifenwechseln bei einer Zielgeschwindigkeit von 50km/h kann folgende Hypothese formuliert werden:

HK5: Der absolute Lenkradwinkel erreicht bei den betrachteten Fahrstreifenwechseln in mindestens 75% der Fälle mindestens 10°

Für die Aktivitäten bzgl. Katalogklasse Q - also Lenkaktivitäten - muss festgehalten werden, dass versuchsbedingt eine annähernde Geradeausfahrt vorliegen muss (siehe dazu Kapitel 4.2.1), bevor Aktivitäten des Auslenkens starten. Zur Klärung von Hypothese HK5 muss eine Aktivität der Klasse Q in den aufbereiteten Daten identifiziert werden, die aus dem positiven Bereich der Ausgangsposition (Code B1) und die einen Wert der Ausgangsposition größer 10° (Code S3 oder S4 oder S5 oder S6) aufweist, da damit einhergehend der absolute Lenkradwinkel der vorher stattgefundenen Aktivität mindestens 10° erreicht hatte. Dementsprechend muss einer der vier Codes `QW*H*G*L*B1S3D*`,

QW*H*G*L*B1S4D*, QW*H*G*L*B1S5D* oder QW*H*G*L*B1S6D* gefunden werden, damit ein positiver Fall gemäß Hypothese HK5 vorliegt.

Unterschiedliche Quellen sprechen ein spezielles Lenkverhalten vor dem eigentlichen Auslenken beim Fahrstreifenwechsel an. So bezeichnen Schmidt et al. (2014) die im Verhältnis zum weiteren Lenkverlauf kleiner ausfallende erste Lenkbewegung in Richtung des Zielfahrstreifens, die häufig durch eher unerfahrene Fahrer ausgeführt wird, als „Schulter“. Nach diesem ersten Auslenken wird der Lenkradwinkel etwas zeitverzögert bis zum maximalen absoluten Lenkradwinkel erhöht. Auch bei Sporrer et al. (1998) kann teilweise ein vergleichbarer Verlauf des Lenkradwinkels festgestellt werden. Wenn auch es Quellen gibt, die ein entgegengesetztes Verhalten beobachten konnten (Berndt et al. (2008) oder Winsum et al. (1999)), soll in Hypothese HK6 der Sachverhalt des Vorhandenseins einer solchen „Schulter“ durch zwei einzelne Lenkaktivitäten überprüft werden:

HK6: Eine zunächst kleinere Lenkradbewegung von maximal 10° nach links, welche entweder direkt oder nach einem annähernd konstant Halten des Lenkrads etwas zeitverzögert von einer größeren Lenkradbewegung gefolgt ist, während derer der absolute Lenkradwinkel über 10° nach links steigt, kann beim Fahrstreifenwechsel nach links im Betrachtungszeitraum in mindestens 25% der Fälle gefunden werden.

Die Überprüfung von HK6 ist im Vergleich zu den vorherigen Hypothesen deutlich komplexer. Zur Prüfung der gesuchten Schulter im Lenkverhalten gilt es insgesamt drei Schritte zu prüfen, wobei auch eine Prüfung auf Nichtvorhandensein gewisser Codes enthalten ist. Erstens muss eine erste Lenkbewegung nach links von maximal 10° gesucht werden. In der Beschreibungssprache wird diese durch den Code QW*H5G*L2B3S1D* oder QW*H5G*L3B3S1D* repräsentiert. Dabei wird gefordert, dass die Lenkradwinkelveränderung bei Lenken nach links (Code H5) entweder zwischen 2° und 5° (Code L2) oder zwischen 5° und 10° (Code L3) liegt und das Auslenken dabei aus dem neutralen Bereich der Ausgangsposition (Code B3S1) kommt. Der zweite Schritt umfasst die Prüfung, ob nach diesem Schritt optional ein annäherndes konstant halten des Lenkrads stattfindet. Dabei gilt es die Codes QW*H4G*L1B*S1D* oder QW*H4G*L1B*S2D* zu suchen. Gemäß der Forderung aus Hypothese HK6 darf jedoch nach dem ersten Auslenken nach links unter 10° kein Lenken nach rechts stattfinden. In der Beschreibungssprache zeichnet sich ein Lenken nach rechts durch den Ausprägungscode H6 aus - d.h., dass kein Code QW*H6G*L*B*S*D* auftreten darf. Der zweite Anteil der Lenkschulter wird im dritten Schritt geprüft. Dazu muss der absolute Lenkradwinkel mindestens 10° überschreiten. Die zugehörigen Codes sind QW*H*G*L*B1S3D*, QW*H*G*L*B1S4D*, QW*H*G*L*B1S5D* oder QW*H*G*L*B1S6D* - diese wurden bereits bei Hypothese HK5 genannt. Die vollständige Suchlogik hinsichtlich Hypothese HK6 fasst Abbildung 29 zusammen.

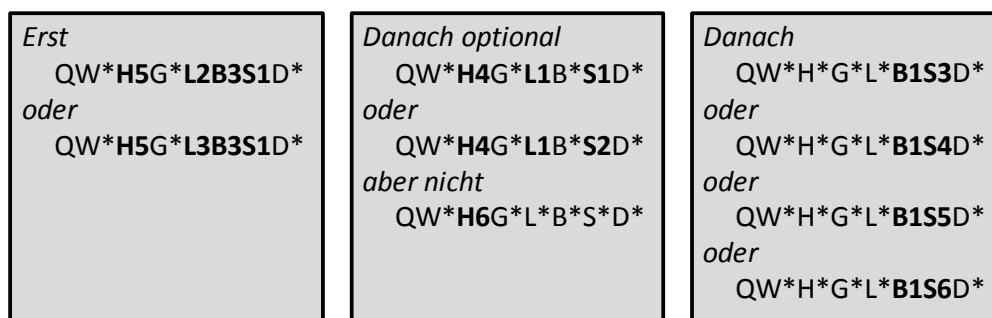


Abbildung 29: Übersicht der drei Schritte der Suchlogik bzgl. Codes aus der Beschreibungssprache zu Hypothese HK6

In der Literatur gibt es kaum Aussagen zum **Längsführungsverhalten** während eines Fahrstreifenwechsels in einem vergleichbaren Setting, wie dem des eingeschränkten Anwendungsfalls. Eine der wenigen relevanten Aussagen kommt von Lee et al. (2004), die davon sprechen, dass während einem Fahrstreifenwechsel äußerst selten gebremst wird. Berndt et al. (2008) gehen zudem sogar soweit, zu behaupten, dass die Gaspedalstellung für einen Fahrstreifenwechsel nicht repräsentativ sei. In einer simulierten Autobahnumgebung konnten Salvucci und Liu (2002) ermitteln,

dass eine Beschleunigung rund 5s vor dem Beginn eines Fahrstreifenwechsels vorhanden ist. Im Rahmen der Versuche, die dieser Arbeit zugrunde liegen, scheint es jedoch eher unwahrscheinlich, dass ein solches Muster gefunden werden kann, da kein Verkehr auf dem Start- und Zielfahrstreifen herrscht (siehe dazu Kapitel 4.2.1). Vielmehr erscheint es naheliegend, dass eher wenige Aktivitäten der Längsführung gefunden werden und diese primär der Haltung der Geschwindigkeit dienen und daher eher dezent, d.h. mit geringem Pedalweg ausfallen. Angelehnt an die Aussage von Lee et al. (2004) kann zudem vermutet werden, dass es wenige bzw. keine Betätigungen des Bremspedals gibt. Daher werden folgende Hypothesen aufgestellt:

HK7: Eine einzelne Änderung der Gaspedalstellung größer als 10% des Pedalwegs tritt im Betrachtungszeitraum in weniger als 10% der Fälle auf

HK8: Im Betrachtungszeitraum können keine Aktivitäten am Bremspedal gefunden werden

Zu Hypothese HK7 gilt es zu prüfen, ob Aktivitäten am Gaspedal (Ausprägung P1) auftreten, die mit einem Weg der Pedalbewegung (Eigenschaft W der Klasse L) von 10% oder höher stattgefunden haben. Die Codes der relevanten Aktivitäten zu Hypothese HK7 sind **LP1A*G*S*W3D***, **LP1A*G*S*W4D***, **LP1A*G*S*W5D*** oder **LP1A*G*S*W6D***. Sobald mindestens eine der vier möglichen Aktivitäten auftritt, muss dies als ein positiver Fall gezählt werden. Für die Untersuchung von Hypothese HK8 bedarf es der Identifikation von Betätigungen am Bremspedal. In der Beschreibungssprache bedarf es gemäß Kapitel 3.2.2 der Ausprägung B2 der Eigenschaft Pedal (P) und einer der drei möglichen Ausprägungen A2, A3 oder A4 der Bewegung des rechten Fußes. Demnach muss nach den Codes **LP2A2G*S*W*D***, **LP2A3G*S*W*D*** oder **LP2A4G*S*W*D*** gesucht werden.

Da der Fahrtrichtungsanzeiger gemäß §7 (5) der StVO (2013) bei einem Fahrstreifenwechsel benutzt werden muss, sollte die zugehörige Aktivität der **Signalgebung** für eine angestrebte Prädiktion des Manövers wertvoll sein. Ergebnisse unterschiedlicher Versuche zeigen jedoch, dass Betätigungsraten deutlich schwanken können. So konnte Ponziani (2012) eine Betätigungsrate von knapp 52% feststellen. Laut einer Studie des ADAC (zitiert in DVR (2007)) benutzen rund 55% der Fahrer den Fahrtrichtungsanzeiger bei Fahrstreifenwechseln auf innerstädtischen Straßen. Gemäß ACE (2008) wurde in einer groß angelegten Verkehrsbeobachtung von etwa 394.000 Fahrzeugen eine über die relevanten Manöver durchschnittliche Betätigung von knapp 68% ermittelt. In der Untersuchung von Schmidt et al. (2014), in der über 3.000 Fahrstreifenwechsel analysiert wurden, konnte eine wiederum sehr hohe Betätigungsrate festgestellt werden. In 99,7% aller Fahrstreifenwechsel wurde demnach der Fahrtrichtungsanzeiger verwendet. Olsen (2003) stellt fest, dass die Betätigungshäufigkeit davon abhängig ist, ob ein Versuchsleiter bei der Datenerhebung anwesend ist. Zur Überprüfung des Vorhandenseins der entsprechenden Aktivität wird folgende Hypothese aufgestellt:

HK9: Der linke Fahrtrichtungsanzeiger wird in mindestens 50% der Fälle im Betrachtungszeitraum des Fahrstreifenwechsels nach links bestätigt

In Katalogklasse S ist definiert, dass der Fahrtrichtungsanzeiger (Code GB) aktiviert (Code GB1) oder angetippt (GB2) werden kann. Gemäß Hypothese HK9 gilt es auch noch die Richtung des Signals zu prüfen. Die Codes, die für die Prüfung der Hypothese gesucht werden müssen, sind demnach **SGB1R1D*** oder **SGB2R1D***.

Tabelle 17 fasst die Hypothesen zu den einzelnen Katalogklassen und die Aspekte hinsichtlich der relevanten Codes und der Auswertung inkl. Suchlogik zusammen.

Tabelle 17: Übersicht der Hypothesen, der enthaltenen Aktivitäten, der entsprechenden Codes des Aktivitätskatalogs, der Code-Nummerierung und der Suchlogik zu den Hypothesen der Gruppe „Katalogklassen“ (HK)

Hypothese	Aktivität	Code (Code-Nummer)	Suchlogik
HK1	Fixation linker Außenspiegel	IK*W*V*N*RS1O*D* (HK1#1)	Einfache Suche nach HK1#1
HK2	Fixation Innenspiegel	IK*W*V*N*RS3O*D* (HK2#1)	Einfache Suche nach HK2#1
HK3	Blick über linke Schulter	IK*W*V*N*RQ1O*D* (HK3#1)	Einfache Suche nach HK3#1 oder HK3#2
		IK*W*V*N*RQ2O*D* (HK3#2)	
HK4	Fixation vorausliegender Zielfahrstreifen vor Markierungsübertritt	IK*W*V*N*RF*OB7D* (HK4#1)	Einfache Suche nach HK4#1 und Prüfung des Zeitpunkts
HK5	Absoluter Lenkradwinkel mindestens 10°	QW*H*G*L*B1S3D* (HK5#1)	Suche nach HK5#1 oder HK5#2 oder HK5#3 oder HK5#4
		QW*H*G*L*B1S4D* (HK5#2)	
		QW*H*G*L*B1S5D* (HK5#3)	
		QW*H*G*L*B1S6D* (HK5#4)	
HK6	Lenkbewegung nach links zwischen 2° und 10°	QW*H5G*L2B3S1D* (HK6#1)	Suche nach HK6#1 oder HK6#2, danach optional HK6#3 oder HK6#4 aber kein HK6#5, danach HK6#6 oder HK6#7 oder HK6#8 oder HK6#9
		QW*H5G*L3B3S1D* (HK6#2)	
	Annähernd konstant Halten des Lenkrads	QW*H4G*L1B*S1D* (HK6#3)	
		QW*H4G*L1B*S2D* (HK6#4)	
	Lenkradbewegung nach rechts	QW*H6G*L*B*S*D* (HK6#5)	
	Absoluter Lenkradwinkel mindestens 10°	QW*H*G*L*B1S3D* (HK6#6)	
		QW*H*G*L*B1S4D* (HK6#7)	
		QW*H*G*L*B1S5D* (HK6#8)	
		QW*H*G*L*B1S6D* (HK6#9)	
HK7	Veränderung Gaspedalstellung größer 10%	LP1A*G*S*W3D* (HK7#1)	Suche nach HK7#1 oder HK7#2 oder HK7#3 oder HK7#4
		LP1A*G*S*W4D* (HK7#2)	
		LP1A*G*S*W5D* (HK7#3)	
		LP1A*G*S*W6D* (HK7#4)	
HK8	Veränderung Bremspedalstellung	LP2A2G*S*W*D* (HK8#1)	Suche nach HK8#1 oder HK8#2 oder HK8#3
		LP2A3G*S*W*D* (HK8#2)	
		LP2A4G*S*W*D* (HK8#3)	
HK9	Betätigung linker Fahrtrichtungsanzeiger	SGB1R1D* (HK9#1)	Suche nach HK9#1 oder HK9#2
		SGB2R1D* (HK9#2)	

Neben den zuvor aufgestellten Hypothesen zu den Katalogklassen ist es lohnenswert weitere Hypothesen zu formulieren, um das Verhalten der Fahrer auf der Basis von Aktivitäten oder Aktivitätssequenzen untersuchen zu können. Diese betreffen die Reihenfolge einzelner charakteristischer Aktivitäten, die Frühzeitigkeit einzelner charakteristischer Aktivitäten im Bezug zum definierten Manöverbeginn, um einen Vorhersagehorizont für eine Anwendung in einem Algorithmus abschätzen zu können und die Gleichmäßigkeit im Verhalten der Probanden - diese werden nachfolgend der Reihe nach hergeleitet:

Hypothesen zur Reihenfolge einzelner charakteristischer Aktivitäten (HR)

Es ist möglich aus Erkenntnissen in der Literatur prototypische Aktivitätssequenzen abzuleiten (siehe z.B. Schneider (2009) und Kopf (2005)) und die darin dargestellte Reihenfolge der Aktivitäten zu überprüfen. Dabei kann erneut ein unterschiedlicher Detailgrad der Reihenfolge der Aktivitäten formuliert werden. Von der zeitlichen Reihenfolge von zwei einzelnen Aktivitäten der gleichen

Aktivitätsklasse bis hin zur Folge von einigen Aktivitäten, die auch unterschiedlichen Aktivitätsklassen angehören können. Je mehr Aktivitäten bei der entsprechenden Hypothese gefordert werden, desto geringer ist erwartungsgemäß auch die Wahrscheinlichkeit die Hypothese bestätigen zu können. Im Folgenden werden anhand der postulierten Reihenfolge aus dem „Denkzettel“ zum Verhalten bei einem Fahrstreifenwechsel (Hamburger Fahrlehrerverband (2016a), siehe auch Tabelle 8 aus Kapitel 2.5.3) und teilweise unter Beachtung von Erkenntnissen aus Henning et al. (2007) fünf entsprechende Hypothesen formuliert. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass für die Überprüfung gewährleistet sein muss, dass die jeweiligen einzelnen Aktivitäten auch vom Proband gezeigt werden, was in den nachfolgenden Hypothesen aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit bewusst nicht wiederholend formuliert ist.

HR1: Mindestens eine der Fixationen des Innen- oder linken Außenspiegels passiert in mindestens 75% der Fälle vor dem Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers nach links

Zur Prüfung von Hypothese HR1 bedarf es der Beschreibung der Aktivitäten Fixation linker Außenspiegel, Fixation Innenspiegel und Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger nach links. Analog den Ausführungen bei der Hypothesengruppe HK sind demnach insgesamt vier Aktivitätscodes relevant. Der Code `IK*W*V*N*RS1O*D*` (HR1#1) beschreibt eine Fixation des linken Außenspiegels und der Code `IK*W*V*N*RS3O*D*` (HR1#2) die Fixation des Innenspiegels. Die Fahrtrichtungsanzeigerbetätigung wird durch die beiden Codes `SGB1R1D*` (HR1#3) und `SGB2R1D*` (HR1#4) repräsentiert. Die Suchlogik der Hypothese HR1 umfasst die Suche nach HR1#1 oder HR1#2 mit anschließender Suche nach HR1#3 oder HR1#4.

HR2: Nach einer ersten Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels und einer anschließenden Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers nach links folgt in mindestens 75% der Fälle mindestens eine weitere Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels

Die Vorgehensweise zur Prüfung von Hypothese HR2 ist zu Beginn identisch zu der bzgl. Hypothese HR1. Nach den ersten beiden Schritten muss zusätzlich erneut das Vorhandensein von einer Fixation des linken Außenspiegels oder des Innenspiegels geprüft werden.

HR3: Einem Blick über die linke Schulter geht in mindestens 75% der Fälle mindestens eine Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels voraus

Ein Blick über die linke Schulter wird analog zu den Details von Hypothese HK3 über die beiden Codes `IK*W*V*N*RQ1O*D*` und `IK*W*V*N*RQ2O*D*` beschrieben. Nach der Prüfung des ersten Teils der vorherigen beiden Hypothesen muss demnach entweder der Code `IK*W*V*N*RQ1O*D*` oder der Code `IK*W*V*N*RQ2O*D*` vorhanden sein, damit ein positiver Fall bzgl. der Hypothese HR3 identifiziert werden kann.

HR4: Dem Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung des Zielfahrstreifens geht in mindestens 75% der Fälle mindestens eine Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels voraus

Für Hypothese HR4 bedarf es der etwas komplizierteren Beschreibung der Aktivität „Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung des Zielfahrstreifens“ gemäß den Festlegungen aus Kapitel 3.2.2. Die Suchlogik startet dazu bei der Aktivität, die in dem betrachteten Zeitraum den höchsten Ausprägungswert der Eigenschaft S (Wert der Ausgangsposition) aus einem positiven Bereich der Ausgangsposition (Code B1) hat - vor dieser Aktivität kam es zur Aufbringung des höchsten absoluten Lenkradwinkels. Ausgehend von dieser Aktivität gilt es nun die erste Aktivität zu finden, die ebenfalls eine Lenkradbewegung nach links beschreibt, ohne dass zwischendurch eine entgegengesetzte Lenkradbewegung nach rechts vorhanden ist. Die erste Aktivität, bei der das Lenkrad nach links gedreht wird (Code H5), welcher kein entgegengesetztes Lenken nach rechts (Code H6) folgt, bevor das Maximum des Ausgangspositionswerts erreicht wird, ist der gesuchte „Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung des Zielfahrstreifens“. Ein annäherndes konstant halten des Lenkrads (Code

H4) darf hingegen in der Zwischenzeit vorkommen. Nach der Identifikation der Aktivität zum Auslenkstart gilt es zu prüfen, ob vor dieser mindestens eine Fixation der relevanten Spiegel (Code $IK^*W^*V^*N^*RS1O^*D^*$ oder $IK^*W^*V^*N^*RS3O^*D^*$) liegt. In Abbildung 30 kann die Suchlogik erneut nachvollzogen werden.

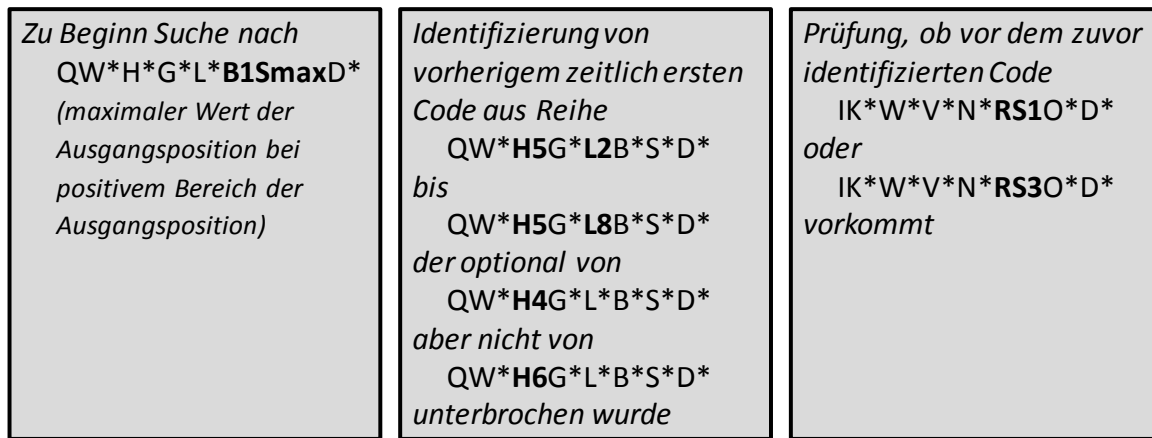


Abbildung 30: Übersicht der drei Schritte der Suchlogik bzgl. Codes aus der Beschreibungssprache zu Hypothese HR4

HR5: Dem Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung des Zielfahrstreifens geht in mindestens 75% der Fälle mindestens eine Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers voraus

Zur Prüfung von Hypothese HR5 sind die ersten beiden Schritte identisch zu dem Vorgehen bei Hypothese HR4, da erneut der Auslenkstart gesucht ist. Der dritte Schritt umfasst anschließend die Prüfung, ob der Fahrtrichtungsanzeiger zuvor aktiviert (Code $SGB1R1D^*$) bzw. angetippt (Code $SGB2R1D^*$) wurde.

In Tabelle 18 können die Hypothesen, die die Reihenfolge einzelner Aktivitäten betrachten, die relevanten Codes und die Suchlogik zusammengefasst gefunden werden.

Tabelle 18: Übersicht der Hypothesen, der enthaltenen Aktivitäten, der entsprechenden Codes des Aktivitätskatalogs, der Code-Nummerierung und der Suchlogik zu den Hypothesen der Gruppe „Reihenfolge“ (HR)

Hypothese	Aktivität	Code (Code-Nummer)	Suchlogik
HR1	Fixation linker Außenspiegel	IK*W*V*N*RS1O*D* (HR1#1)	Suche nach HR1#1 oder HR1#2, danach HR1#3 oder HR1#4
	Fixation Innenspiegel	IK*W*V*N*RS3O*D* (HR1#2)	
	Betätigung linker Fahrtrichtungsanzeiger	SGB1R1D* (HR1#3)	
		SGB2R1D* (HR1#4)	
HR2	Fixation linker Außenspiegel	IK*W*V*N*RS1O*D* (HR2#1)	Suche nach HR2#1 oder HR2#2, danach HR2#3 oder HR2#4, danach HR2#1 oder HR2#2
	Fixation Innenspiegel	IK*W*V*N*RS3O*D* (HR2#2)	
	Betätigung linker Fahrtrichtungsanzeiger	SGB1R1D* (HR2#3)	
		SGB2R1D* (HR2#4)	
HR3	Blick über linke Schulter	IK*W*V*N*RQ1O*D* (HR3#1)	Suche nach HR3#1 oder HR3#2, Prüfung ob davor HR3#3 oder HR3#4
		IK*W*V*N*RQ2O*D* (HR3#2)	
	Fixation linker Außenspiegel	IK*W*V*N*RS1O*D* (HR3#3)	
	Fixation Innenspiegel	IK*W*V*N*RS3O*D* (HR3#4)	
HR4	Start eigentliches Auslenken in Richtung Zielfahrstreifen	QW*H*G*L*B1SmaxD* (HR4#1)	Suche nach HR4#1 (maximales S bei einem B1) und Identifizierung von zeitlich erstem Code aus Reihe der Codes aus der Gruppe von HR4#2 bis HR4#8 der optional von HR4#9, nicht aber von einem HR4#10 unterbrochen sein kann, davor HR4#11 oder HR4#12
		QW*H5G*L2B*S*D* (HR4#2)	
		QW*H5G*L3B*S*D* (HR4#3)	
		QW*H5G*L4B*S*D* (HR4#4)	
		QW*H5G*L5B*S*D* (HR4#5)	
		QW*H5G*L6B*S*D* (HR4#6)	
		QW*H5G*L7B*S*D* (HR4#7)	
		QW*H5G*L8B*S*D* (HR4#8)	
		QW*H4G*L*B*S*D* (HR4#9)	
		QW*H6G*L*B*S*D* (HR4#10)	
	Fixation linker Außenspiegel	IK*W*V*N*RS1O*D* (HR4#11)	
	Fixation Innenspiegel	IK*W*V*N*RS3O*D* (HR4#12)	
HR5	Start eigentliches Auslenken in Richtung Zielfahrstreifen	Analog Codes zu HR4 (HR5#1) bis (HR5#10)	Analog Suchlogik zu HR4
	Betätigung linker Fahrtrichtungsanzeiger	SGB1R1D* (HR5#11)	
		SGB2R1D* (HR5#12)	

Hypothesen zur Frühzeitigkeit einzelner charakteristischer Aktivitäten (HF)

Zur Untersuchung eines möglichen Vorhersagehorizonts einzelner vorhandener Aktivitäten, welcher immer auf den definierten Manöverbeginn bezogen wird, werden angelehnt an Literaturangaben vier Hypothesen aufgestellt.

Gemäß Schmidt et al. (2014) wird der Fahrtrichtungsanzeiger im Durchschnitt 2,47s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn aktiviert. In den Versuchen von Henning et al. (2007) wurde der Fahrtrichtungsanzeiger im Mittel 2,28s - bei einer Standardabweichung von 2,17s - aktiviert. Schroven (2011) gibt zu seinen Versuchen an, dass die Aktivierung durchschnittlich 3,15s vor dem Fahrstreifenwechsel stattfand. Schmidt et al. (2014) nennen zusätzlich, dass der überwiegende Anteil der Aktivierungen in der Zeitspanne zwischen 3,75s und 1,25s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn liegt. Darauf aufbauend wird folgende Hypothese aufgestellt:

HF1: Die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers wird in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3,75s und 1,25s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn durchgeführt

Zur Überprüfung der Hypothese HF1 bedarf es der Identifikation der Zeitpunkte bzw. Zeitstempel des Beginns der gesuchten Aktivitätscodes, die die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers repräsentieren. Diese sind **SGB1R1D*** bzw. Code **SGB2R1D***. Danach muss geprüft werden, ob die Aktivität bezogen auf den Zeitpunkt des Fahrstreifenwechselbeginns (Überfahren der Fahrstreifenmarkierung) zeitlich zwischen 3,75s bis 1,25s früher liegt. Liegt die Betätigung in dieser Zeitspanne, wird für Hypothese HF1 zu dem betrachteten Fall ein positives Ergebnis gezählt.

Im Zeitbereich von 2s-4s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn gibt es nach Doshi und Trivedi (2009) einen deutlichen Anstieg der Blickanzahl in den Außenspiegel. Auch die durchschnittliche Blickdauer in den linken Außenspiegel steigt im Durchschnitt in diesem Zeitfenster vor dem Manöver um fast mehr als das Zehnfache von 24,2ms auf 287,3ms. Gemäß Liebner et al. (2012) kommt es zu einer Häufung der Fixationen des linken Außenspiegels in der Zeitspanne zwischen 5s und 2s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn. Analog zu dieser Erkenntnis wird folgende Hypothese formuliert:

HF2: Die Fixationen des linken Außenspiegels finden in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 5s und 2s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn statt

Bezogen auf Hypothese HF2 gilt es den Aktivitätsbeginn der Fixationen des linken Außenspiegels (Code **IK*W*V*N*RS1O*D***) mit dem Manöverbeginn zu vergleichen. Die Hypothese fordert, dass die Fixationen im Bereich zwischen 5s und 2s vor dem Manöverbeginn stattfinden, damit ein positiver Fall vorliegt.

In der Untersuchung von Morris et al. (2011) wurde festgestellt, dass es in der Zeitspanne zwischen ca. 3s und 1,5s vor einem Fahrstreifenwechsel eine deutliche Zunahme von Kopfbewegungen gab. Da diese Bewegungen mit dem Verhalten bei einem Blicke über die Schulter zusammen hängen können, wird angelehnt an diese Erkenntnis Hypothese HF3 aufgestellt.

HF3: Blicke über die linke Schulter können in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3s und 1,5s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn gefunden werden

Blicke über die linke Schulter werden über die Codes **IK*W*V*N*RQ1O*D*** bzw. **IK*W*V*N*RQ2O*D*** repräsentiert. Es gilt zu prüfen, ob diese Aktivitäten - sofern sie auftreten - 3s bis 1,5s vor dem Manöverbeginn liegen.

Morris et al. (2011) geben an, dass die Abweichung von der Fahrspur (engl. lane deviation) im Zeitbereich zwischen 2s und 0s vor dem Markierungsübertritt hinsichtlich einer Verhaltensvorhersage nutzbar ist, während davor die Abweichung, durch die noch nicht oder zumindest nicht so stark ausgeführte Lenkbewegung, wenig relevant ist. Demnach konnten die Autoren den Lenkbeginn ungefähr 2s vor dem Überschreiten der Markierung feststellen. Mit einem zusätzlich vorgesehenen Toleranzbereich kann dementsprechend folgende Hypothese formuliert werden:

HF4: Der Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung Zielfahrstreifen wird in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3s und 1s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn durchgeführt

Die Identifikation des Auslenkbeginns wurde ausführlich bei Hypothese HR4 beschrieben. Zur Klärung von Hypothese HF4 muss der Zeitpunkt des Lenkbeginns ermittelt werden. Danach kann überprüft werden, ob der Zeitpunkt im Bereich liegt, der in der Hypothese gefordert ist (3s bis 1s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn).

Tabelle 19 zeigt die Zusammenfassung der Hypothesen zur Frühzeitigkeit, der dort enthaltenen Aktivitäten, der zugehörigen Codes und der Suchlogik.

Tabelle 19: Übersicht der Hypothesen, der enthaltenen Aktivitäten, der entsprechenden Codes des Aktivitätskatalogs, der Code-Nummerierung und der Suchlogik zu den Hypothesen der Gruppe „Frühzeitigkeit“ (HF)

Hypothese	Aktivität	Code (Code-Nummer)	Suchlogik
HF1	Betätigung linker Fahrtrichtungsanzeiger	SGB1R1D* (HF1#1)	Suche nach HF1#1 oder HF1#2, Prüfung des Zeitstempels
		SGB2R1D* (HF1#2)	
HF2	Fixation linker Außenspiegel	IK*W*V*N*RS1O*D* (HF2#1)	Suche nach HF2#1, Prüfung des Zeitstempels
HF3	Blick über linke Schulter	IK*W*V*N*RQ1O*D* (HF3#1)	Suche nach HF3#1 oder HF3#2, Prüfung des Zeitstempels
		IK*W*V*N*RQ2O*D* (HF3#2)	
HF4	Start eigentliches Auslenken in Richtung Zielfahrstreifen	Analog Codes zu HR4 (HF4#1) bis (HF4#10)	Suche nach dem zeitlich ersten Code (vgl. Vorgehen bei Hypothese HR4), Prüfung des Zeitstempels

Hypothesen zur Gleichmäßigkeit des Probandenverhaltens (HG)

Um dem Ziel einer Verhaltensvorhersage näher zu kommen, ist es wichtig, dass es neben Ergebnissen zu typischen Aktivitäten, die während einem Manöver auftreten können, auch Aussagen zu der Gleichmäßigkeit in den Aktivitäten eines einzelnen Probanden gibt. D.h., dass neben der inter-individuellen Betrachtung des Verhaltens auch die intraindividuelle Sichtweise wichtig ist. Durch die zu erwartende Komplexität im Verhalten (vgl. Kapitel 1.1) erscheint es sehr ambitioniert Aktivitäten oder Aktivitätssequenzen zu finden, die für alle Probanden gleichermaßen gelten. Dadurch, dass Algorithmen zur Verhaltensvorhersage lernend oder selbstlernend aufgebaut sein können (vgl. Kapitel 2.2.4) und sich damit in einem gewissen Rahmen auch auf den jeweiligen Fahrer im Fahrzeug und sein spezifisches Verhalten einstellen können, sind Aussagen zur Gleichmäßigkeit im intraindividuellen Verhalten wertvoll. Zur Untersuchung der angesprochenen Gleichmäßigkeit werden angelehnt an die zuvor zu den einzelnen Katalogklassen aufgestellten Hypothesen (HK) ebenfalls neun Hypothesen formuliert. Dabei werden die charakteristischen Aktivitäten, die auf Gleichmäßigkeit untersucht werden sollen jeweils in eine quasi identische Hypothese integriert. Um von einer Gleichmäßigkeit und dem damit verbundenen Mehrwert für eine Verhaltensprädiktion sprechen zu können, wird eine Prozentzahl von mindestens 75% gefordert. Die übergeordnete Hypothese, bei deren Formulierung ein Platzhalter („____“) für die jeweiligen charakteristischen Aktivitäten verwendet wird, lautet:

HG: Mindestens 75% der betrachteten Probanden verhalten sich gleichmäßig, indem sie die Aktivität „____“ bezogen auf Wiederholungen entweder immer mindestens einmal oder niemals ausführen

Die charakteristischen Aktivitäten, die bei der Analyse bzgl. gleichmäßigen Verhaltens betrachtet werden und dafür an die Stelle des Platzhalters eingefügt werden müssen, sind:

- Fixation des linken Außenspiegels (HG1)
- Fixation des Innenspiegels (HG2)
- Blick über die linke Schulter (HG3)
- Fixation des Zielfahstreifens vor dem Markierungsübertritt (HG4)
- Absoluter Lenkradwinkel nach links über 10° (HG5)
- Kleine Lenkradbewegung unter 10° nach links, gefolgt von einer größeren Lenkradbewegung über 10° nach links („Schulter“, HG6)
- Einzelne Veränderung der Gaspedalstellung größer 10% Pedalweg (HG7)
- Aktivität am Bremspedal (HG8)
- Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers nach links (HG9)

Das Vorgehen hinsichtlich der Hypothesen, Aktivitäten, Codes und Suchlogik für letzte Gruppe der Hypothesen (Gleichmäßigkeit) ist identisch zu den Ausführungen zur Hypothesengruppe HK (siehe dazu auch Tabelle 17) außer, dass zur Beantwortung der jeweiligen Hypothese die Ergebnisse der Wiederholungen der Probanden verglichen werden müssen. Gefordert ist dabei, dass die Aktivität entweder immer oder nie auftritt.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass insgesamt 27 Hypothesen formuliert sind. Davon entfallen neun auf die einzelnen Katalogklassen (vier auf Aktivitäten der Katalogklasse I, jeweils zwei auf die Katalogklassen Q und L und eine auf die Katalogklasse S). Des Weiteren handeln fünf Hypothesen von Aspekten der Reihenfolge von Aktivitäten, vier von der Frühzeitigkeit der Aktivitäten bezogen auf den Fahrstreifenwechselbeginn und neun von der Gleichmäßigkeit des Probandenverhaltens. Über die einzelnen Hypothesen kann das erwartete Gesamtverhalten schrittweise angenähert werden. Die Hypothesen reichen dabei von einzelnen einfachen Aussagen zu möglichen charakteristischen Aktivitäten bis hin zu komplexeren Zusammenhängen von Aktivitäten unterschiedlicher Katalogklassen.

Aus der Literatur wurde dazu abgeleitet, dass bei einem Fahrstreifenwechsel

- in 75% der Fälle der linke Außenspiegel fixiert wird (HK1)
- in 50% der Fälle der Innenspiegel fixiert wird (HK2)
- in 33% der Fälle ein Blick über die linke Schulter stattfindet (HK3)
- in 50% der Fälle vor dem Markierungsübertritt der Zielfahstreifen fixiert wird (HK4)
- in 75% der Fälle der absolute Lenkradwinkel 10° übersteigt (HK5)
- in 25% der Fälle eine „Schulter“ im Lenkverhalten gefunden werden kann (HK6)
- in max. 10% der Fälle eine einzelne Änderung der Gaspedalstellung über 10% vorliegt (HK7)
- in keinem Fall (0%) eine Aktivität am Bremspedal stattfindet (HK8)
- in 50% der Fälle der Fahrtrichtungsanzeiger betätigt wird (HK9)

Bezogen auf die Reihenfolge von den vermeintlich wichtigsten charakteristischen Aktivitäten wurde ermittelt, dass gemäß der Literatur

- in 75% der Fälle eine Fixation des Innen- oder Außenspiegels vor der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers liegt (HR1)
- in 75% der Fälle nach der obigen Reihenfolge eine weitere Fixation des Innen- oder Außenspiegels stattfindet (HR2)
- in 75% der Fälle vor dem Blick über die linke Schulter der Innen- oder Außenspiegels fixiert wird (HR3)
- in 75% der Fälle eine Fixation des Innen- oder Außenspiegels stattfindet, bevor mit dem Auslenken begonnen wird (HR4)

Die mit den Hypothesen HR1-HR4 einhergehende erwartete Abfolge der Aktivitäten in jeweils 75% der Fälle ist in Abbildung 31 visualisiert.

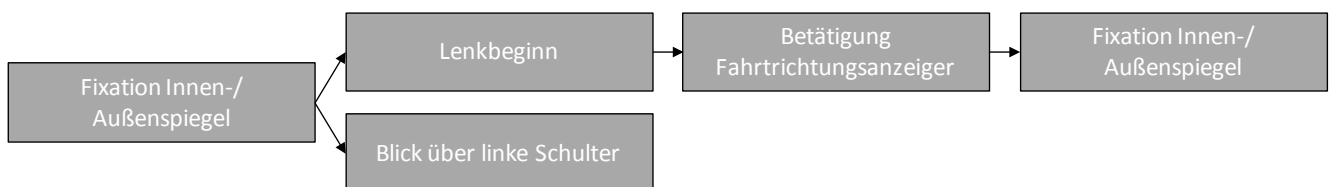


Abbildung 31: Prototypischer Ablauf der charakteristischen Aktivitäten auf Basis der Literaturerkenntnisse

Zu vier der abgeleiteten charakteristischen Aktivitäten wurde zudem ein Zeitbereich in der Literatur identifiziert, in dem die Aktivitäten zu mindestens 75% stattfinden sollen (siehe Hypothese HF1-HF4). Abbildung 32 veranschaulicht die Zeitbereiche.

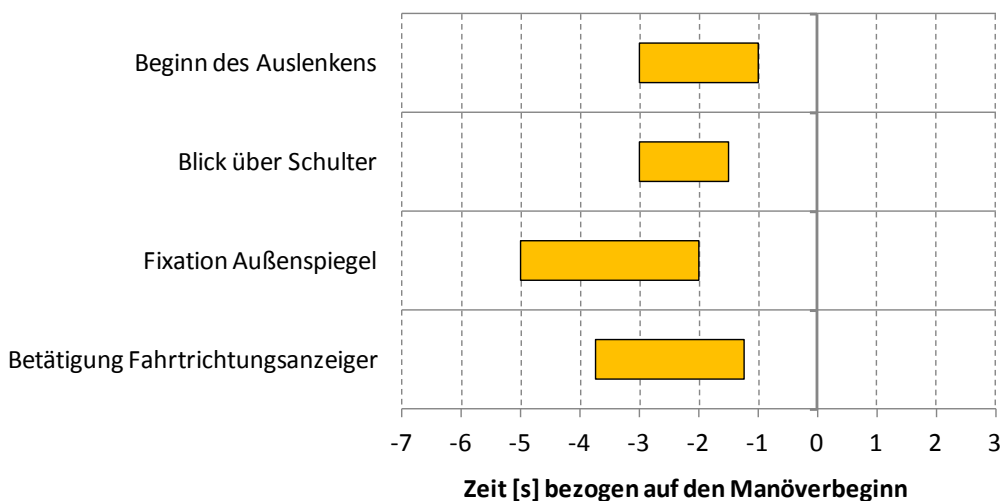


Abbildung 32: Aus der Literatur abgeleitete Verteilung der Zeitpunkte von vier charakteristischen Aktivitäten des Fahrstreifenwechsels

Das erwartete Verhalten, welches über die in den Hypothesen enthaltenen Aktivitäten repräsentiert wird, wird im Rahmen der beispielhaften Anwendung geprüft. In Kapitel 5.1.2 wird zusammenfassend auf die Ergebnisse eingegangen. Im nun folgenden Kapitel wird die Datenerhebung der beispielhaften Anwendung beschrieben.

4.2. Datenerhebung zum Anwendungsbeispiel

Zur beispielhaften Anwendung und der damit verbundenen Überprüfung der Untersuchungsziele und Hypothesen bedarf es einer Datenbasis, die durch Fahrversuche geschaffen werden kann. Grundsätzlich ist es möglich Fahrversuche in unterschiedlichen Untersuchungsumgebungen durchzuführen (Bruder et al. (2007)). Während Versuche im Realverkehr Vorteile hinsichtlich der Realitätsnähe und der dadurch vereinfachten Übertragbarkeit der Ergebnisse haben, zeichnen sich Versuche im sog. kontrollierten Feld dadurch aus, dass eine hohe Reproduzierbarkeit gewährleistet ist und dass auch kritische Situationen in den Versuchen dargestellt werden können (vgl. Bruder et al. (2007)).

Die Versuche im kontrollierten Feld (August-Euler-Flugplatz in Griesheim bei Darmstadt), auf die die Daten zurückzuführen sind, die in dieser Arbeit Verwendung finden, wurden im Verbundprojekt UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement) in der Projektsäule MV (Mensch im Verkehr, siehe dazu Manstetten et al. (2013)) im Teilprojekt VIE (Verhaltensprädiktion und Intentionserkennung) im Rahmen eines Unterauftrags der Adam Opel AG an das Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt erhoben. In den nachfolgenden drei Unterkapiteln werden die Versuche, die versuchsbedingten Einschränkungen hinsichtlich der Aktivitätsanalyse und die Stichprobe näher beschrieben. Während projektseitig diverse Situationen in den Versuchen dargestellt wurden - darunter auch mehrere kritische Situationen (vgl. Langer et al. (2014)) - wird in dieser Arbeit der Fokus lediglich auf das Beispielmanöver zur Aktivitätsanalyse gelegt, weshalb nur Details zu den Fahrstreifenwechselmanövern beschrieben werden.

4.2.1. Beschreibung der Versuche

Die zugrundeliegenden Fahrversuche wurden in den Jahren 2013 und 2014 durchgeführt. Nach der ersten Versuchsreihe (VR1) im Jahr 2013 wurde eine gezielte Variation des Versuchsdesigns der zweiten Versuchsreihe (2014, VR2) vorgenommen. Die Situationen bzgl. der Fahrstreifenwechselmanöver waren von den Anpassungen insofern betroffen, dass in VR1 kein zusätzlicher Verkehr auf der Strecke vorhanden war und demgegenüber in VR2 ein zusätzliches Fahrzeug temporär vor, hinter oder versetzt hinter dem Fahrzeug fuhr. Dabei wurde jedoch immer ein ausreichender Abstand gehalten, dass davon ausgegangen wird, dass durch das weitere Fahrzeug das Längsführungsverhalten der Probanden nicht entscheidend beeinflusst wurde. Ziel der Variation war es jedoch, den Einfluss eines weiteren Fahrzeugs untersuchen zu können, die Versuche realitätsnaher bzw. einem Innenstadtkverkehr zu gestalten und die Notwendigkeit der Absicherung des Umfelds über den visuellen Sinneskanal (bspw. über Spiegelblicke) sicherzustellen. Abbildung 33 zeigt, wie das zusätzliche Fahrzeug aus VR2 durch die Probanden in unterschiedlichen Situationen wahrnehmbar war.

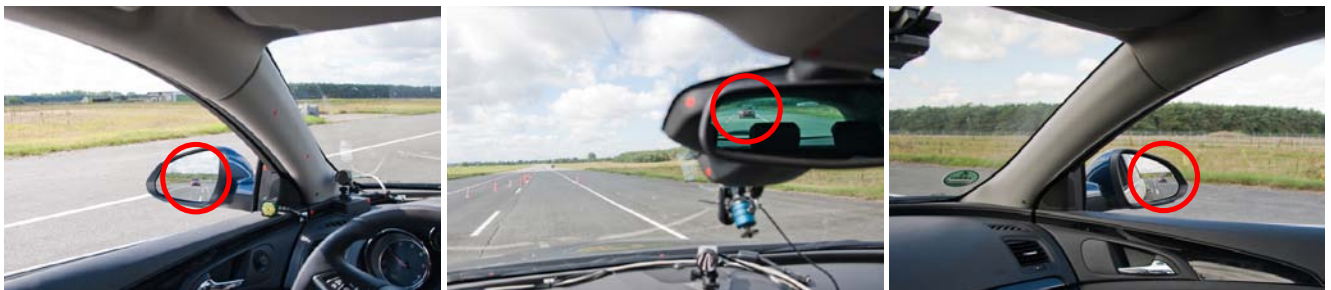


Abbildung 33: Beispiele zur Sichtbarkeit des zusätzlichen Fahrzeugs während der Versuche in VR2

Eine weitere Veränderung nach der ersten Versuchsreihe wurde bzgl. der Messtechnik im Versuchsfahrzeug durchgeführt. Während in VR1 das brillenbasierte Blickbewegungsanalysesystem *Dikablis* der Firma *Ergoneers* verwendet wurde, wurde in VR2 das fahrzeugfeste System *Smart Eye Pro* der Firma *Smart Eye AB* benutzt. Abbildung 34 zeigt die beiden Systeme, die in den Versuchen verwendet wurden.



Abbildung 34: Das brillenbasierte System *Dikablis* der Firma *Ergoneers* (links) und das fahrzeugfeste System *Smart Eye Pro* der Firma *Smart Eye AB* im eingebauten Zustand (rechts)

Die Probanden wurden vor den Versuchen informiert, dass das generelle Versuchsziel die Untersuchung des Fahrerverhaltens ist und dass die allgemeingültigen Regeln der StVO beachtet werden müssen. Diesbezüglich wurden auf der Strecke u.a. zwei Verkehrszeichen 274-55 („zulässige Höchstgeschwindigkeit 50 km/h“, vgl. StVO (2013)) aufgestellt. Während den Versuchen fuhr jeweils ein Versuchsleiter auf dem Rücksitz des Fahrzeugs mit. Dieser war für die Überwachung der Messtechnik und die Koordinierung verschiedener Fragebögen, die jedoch keine Relevanz für diese Arbeit haben, zuständig. Die jeweils zwei unterschiedlichen Versuchsleiter der beiden Versuchsreihen wurden in Vorversuchen geschult und es wurde auf die Einhaltung der zuvor festgelegten Instruktionen an die Probanden geachtet, um eine möglichst hohe Durchführungsobjektivität gewährleisten zu können (vgl. Gründl (2016)).

In den Versuchen wurde ein *Opel Insignia* als Versuchsfahrzeug verwendet. Das Fahrzeug verfügte über ein Automatikgetriebe und die Signale des CAN-Bus konnten über einen On-Board-Diagnose-Stecker abgegriffen werden. Aus den vielfältigen Daten, die über den CAN-Bus auslesbar sind, sind folgende für den weiteren Verlauf dieser Arbeit relevant (Angabe inkl. der zugehörigen Einheit bzw. möglicher Werte):

- Lenkradwinkel [°]
- Lenkradwinkelgeschwindigkeit [°/s]
- Time to Line Crossing [s]
- Fahrpedalposition [%]
- Fahrpedallösegeschwindigkeit [%/s]
- Bremspedalposition [%]
- Bremspedalgeschwindigkeit [%/s]
- Status des Fahrtrichtungsanzeigers (mit Werten: links, rechts, aus)

In den Versuchen wurden keine Kommandos gegeben, dass die Probanden ein gezieltes Manöver durchführen sollen, um möglichst natürliches Verhalten erheben zu können (vgl. Berndt et al. (2008) oder auch Gründl (2016)). Stattdessen wurden die Versuche so geplant, dass gewisse Manöver durch den vorgegebenen Streckenverlauf durchgeführt werden mussten. Um die Probanden zur Durchführung von Fahrstreifenwechselmanövern zu bewegen, wurden auf der Strecke Leitkegel platziert. Abbildung 35 zeigt die aufgebaute Verengung des Startfahrstreifens bei einem der vorhandenen Fahrstreifenwechsel.



Abbildung 35: Verengung des Startfahrstreifens durch Leitkegel auf der Versuchsstrecke

In den Versuchen wurden zwei unterschiedliche Arten von Fahrstreifenwechseln auf der Strecke dargestellt, um eine breitere Variation in den Daten erheben zu können. Sogenannte *freie* Fahrstreifenwechsel ließen den Probanden einen gewissen Spielraum für die Durchführung des Manövers. Es wurde dazu eine ca. 60m lange Lücke zwischen dem Ende der Leitkegel, die auf der mittleren Fahrstreifenmarkierung standen und damit einen früheren Wechsel des Fahrstreifens verhinderten und dem Beginn der Verengung durch die Leitkegel auf dem Startfahrstreifen aufgebaut. Bei den sogenannten *gezwungenen* Fahrstreifenwechseln wurde hingegen weniger örtlicher (nur ca. 7m Lücke) und damit auch zeitlicher Spielraum zur Manöverdurchführung zugelassen. Abbildung 36 zeigt schematisch die dargestellte Situation zu den freien Fahrstreifenwechseln, da nur diese aus Gründen des Datenumfangs im Rahmen der beispielhaften Anwendung betrachtet werden und verdeutlicht auch die zuvor beschriebene Lücke, innerhalb derer der Fahrstreifenwechsel von den Probanden ausgeführt werden konnte.

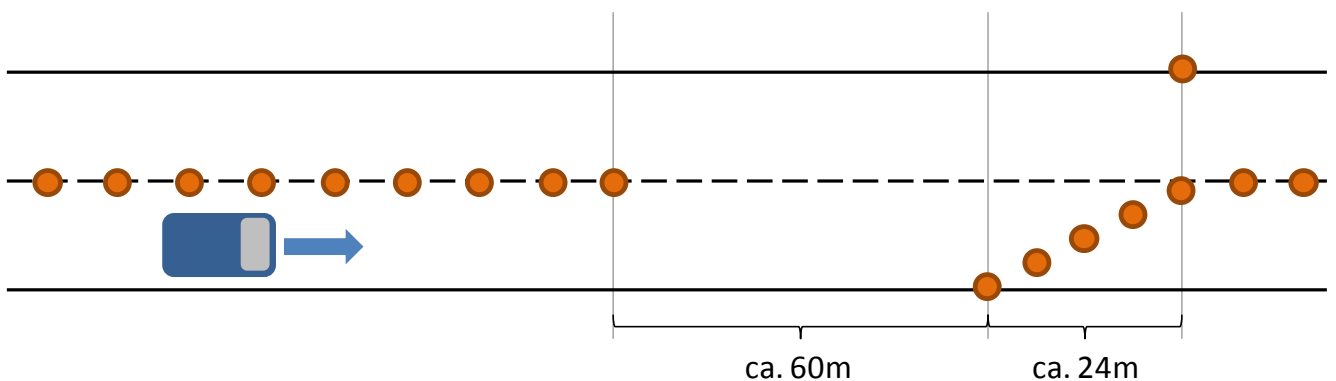


Abbildung 36: Schematische Darstellung der Situation eines freien Fahrstreifenwechsels von rechts nach links

Die Versuche, die insg. jeweils eine gute Stunde in Anspruch nahmen, umfassten jeweils zehn Runden und in jeder Runde wurden insgesamt vier Fahrstreifenwechsel in folgender Reihenfolge eingefordert (siehe auch Abbildung 37): ein gezwungener Fahrstreifenwechsel von rechts nach links, ein freier Fahrstreifenwechsel von links nach rechts, ein freier Fahrstreifenwechsel von rechts nach links und ein gezwungener Fahrstreifenwechsel von links nach rechts. Bei den betrachteten Situationen innerhalb dieser beispielhaften Anwendung der Aktivitätsanalyse handelt es sich demnach um den zeitlich dritten Fahrstreifenwechsel jeder Runde.

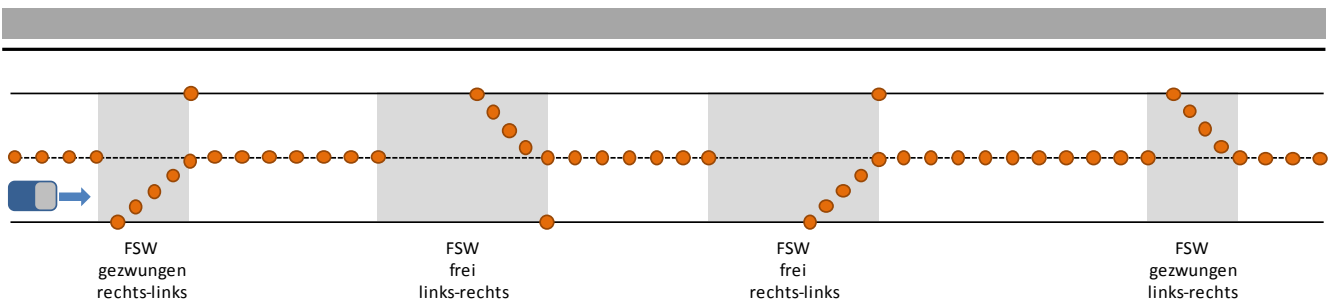


Abbildung 37: Schematische Darstellung der vier Fahrstreifenwechsel-Situationen

In den Versuchen wurden die ersten beiden Runden als Einführungsrunden deklariert, in denen sich die Probanden an das Fahrzeug, aber auch an die Versuchsstrecke gewöhnen konnten. Neben unkritischen Manövern, wie dem Fahrstreifenwechsel, wurden in den Versuchen auch kritische Manöver vorgesehen. So wurde von den Probanden Notbremsmanöver an einer Versuchsampele und durch ein Wurfhindernis und Notausweichmanöver durch zwei weiterentwickelte Ausweichpylonen (siehe dazu Bender (2008)) bzw. das Wurfhindernis eingefordert (vgl. Langer et al. (2014)). Die kritischen Situationen wurden am Ende der Versuche vorgesehen, um das vorherige Verhalten der Probanden nicht durch das Wissen über das Vorhandensein von kritischen Situationen zu beeinflussen und damit die Reaktivität der Probanden, also die mögliche Anpassung des Verhaltens an die vorhandene Beobachtungssituation, besser kontrollieren zu können. Die mögliche Anpassung, die gemäß Roethlisberger und Dickson (1964), zitiert nach Gründl (2016) auch als sog. Hawthorne-Effekt bezeichnet wird, kann ansonsten die externe Validität der Studie senken (vgl. Gründl (2016)). Für die Auswertung der Fahrstreifenwechsel innerhalb der beispielhaften Anwendung der Aktivitätsanalyse werden daher die Versuchsrunden vor dem ersten kritischen Manöver, welches frühestens am Ende von Runde 6 stattfand und nach den beiden Einführungsrunden ausgewählt. In VR1 wurde in der fünften Runde der Versuche die Versuchsampele, die vor Beginn der Fahrstreifenwechsel aufgebaut wurde, verwendet, um die Probanden zu einem normalen Bremsmanöver zu bewegen. Da die nachfolgenden Fahrstreifenwechsel in dieser Runde durch das Abbremsen möglicherweise hinsichtlich der Längsführung beeinflusst sind, wird die Runde nicht für die Auswertung vorgesehen. Daraus folgt, dass für VR1 die Runden 3, 4 und 6 für die Auswertung der Aktivitäten in Frage kommt. Bezogen auf VR2 muss durch die Integration des weiteren Verkehrsteilnehmers eine veränderte Einschränkung der betrachteten Runden durchgeführt werden: Einzig in Runde 3 und Runde 5 fuhr der zusätzliche Verkehrsteilnehmer bei dem dritten Fahrstreifenwechsel der Versuchsrunde hinter bzw. schräg hinter dem Probandenfahrzeug, während zusätzlich keine Ampelschaltung vor der Zufahrt in die Zone der Fahrstreifenwechsel dargestellt wurde. Diese beiden Runden können demnach für die Auswertung vorgesehen werden.

Die Planung der Versuche wurde durch die studentische Abschlussarbeit Heuser (2013) und die Anpassung der zweiten Versuchsreihe durch die studentische Abschlussarbeit Schildger (2014) unterstützt. Den weiteren studentischen Hilfskräften und Studierenden, die im Rahmen Ihrer Abschlussarbeiten bei der Versuchsdurchführung mitgewirkt haben, sei an dieser Stelle ebenfalls gedankt.

4.2.2. Einschränkungen durch die Versuche hinsichtlich der Aktivitätsanalyse

Durch die Versuche, die der beispielhaften Anwendung zugrunde liegen, müssen ein paar Einschränkungen für die Aktivitätsanalyse festgehalten werden, die im Folgenden für die einzelnen Klassen des Katalogs erläutert werden.

Bezogen auf Katalogklasse I wurde die vertikale Kopfneigung (Eigenschaft V) inkl. des Winkels der Kopfneigung (Eigenschaft N) nicht analysiert, da die entsprechenden Messdaten für VR1 nicht vorlagen und zudem der Mehrwert der Auswertung gering gewesen wäre, da die Kopfneigung im Anwendungsbeispiel nicht relevant ist. Für eine Auswertung bzgl. einer Nebenaufgabe, bei der bspw. eine Eingabe in ein Infotainmentsystem gefordert wird, stellt die Kopfneigung hingegen eine relevante Messgröße dar und sollte betrachtet werden. Auch wenn zu den Eigenschaften K (horizontale Kopfdrehung) und W (Winkel der horizontalen Kopfdrehung) zumindest grobe Daten in den Versuchen enthalten waren, wurden diese nicht näher betrachtet, da in der Auswertung die beiden

Eigenschaften zu den Fixationsräumen (R) bzw. Fixationsobjekten (O) im Fokus standen. Die Fixationsräume (Eigenschaft R) sind in den verwendeten Blickbewegungssystemen teilweise nicht so detailliert vorgesehen und können daher teilweise nur gröber ausgewertet werden. Durch das Versuchsdesign und die Versuchsumgebung geschuldet, können zudem nicht alle der Fixationsobjekte (Eigenschaft O) potentiell gefunden werden. Bzgl. der übergeordneten Ausprägung Fahrbahn werden im Rahmen der Analyse die Ausprägungen benachbarter Fahrstreifen und Startfahrstreifen nicht verwendet, um die Komplexität etwas zu verringern. Bezogen auf mögliche andere Verkehrsteilnehmer, die von den Probanden fixiert werden, wird eine Vereinfachung durchgeführt und alle Fixationen mit der Ausprägung OTx codiert. Da auf dem Streckenabschnitt des Fahrstreifenwechsels keine Verkehrszeichen aufgestellt sind, kann Ausprägung OZ nicht gefunden werden und die Codierung von möglichen Displayblicken wird vernachlässigt, da keine entsprechend relevante Aufgabe vorhanden war (stattdessen werden entsprechende Fixationen als „Sonstige“ deklariert). Zur Katalogklasse Q kann die Eigenschaft Handwahl (W) nicht ermittelt werden, da in den Versuchen keine entsprechend geeignete Innenraumkamera vorgesehen wurde. In Verbindung mit der Tatsache, dass das Lenkrad zudem über keine Drucksensoren verfügt, können bei der Eigenschaft Aktion Hände (H) lediglich die Ausprägungen Lenkrad annähernd konstant halten (4), nach links drehen (5) und nach rechts drehen (6) über den CAN-Bus betrachtet werden. Bei der Katalogklasse zur Längsführung (L) sind die Einschränkungen sehr ähnlich denen bei Klasse Q. Da keine Innenraum- bzw. Fußraumkameras in den Versuchen integriert wurden, können keine Fußbewegungen (Eigenschaft A) zum Pedal (Ausprägung 1) oder vom Pedal weg (Ausprägung 5) detektiert werden. Alle weiteren Eigenschaften bzw. Ausprägungen der Klassen Q und L sind hingegen grundsätzlich messbar. Bei der Signalgebung (Katalogklasse S) werden alle Signale (Eigenschaft G) außer dem des Fahrtrichtungsanzeigers vernachlässigt, da sie keinerlei Relevanz für das Beispielmanöver besitzen. Zudem ist es rein über den CAN-Bus nicht möglich zwischen einem Antippen bzw. Aktivieren des Fahrtrichtungsanzeigers zu unterscheiden, weshalb stellvertretend nur Ausprägung B1 identifizierbar ist. Da das Versuchsfahrzeug über ein Automatikgetriebe verfügt und zudem der Mehrwert für eine mögliche Verhaltensprädiktion eines Fahrstreifenwechsels eher gering ist, werden keine Aktivitäten der Katalogklasse U (Schaltvorgang) ausgewertet. Ebenso wird die Katalogklasse bzgl. der „Sonstigen Aktivitäten“ (N) aus der Betrachtung herausgelassen, um die Komplexität bei der beispielhaften Anwendung nicht zu stark ansteigen zu lassen.

4.2.3. Beschreibung der betrachteten Stichprobe der beiden Versuchsreihen

Auch wenn keine gezielten Hypothesen zu demografischen Angaben oder der Fahrercharakteristika aufgestellt wurden, werden nachfolgend einige Angaben zur Versuchsstichprobe gemacht, um die Ergebnisse der beispielhaften Anwendung der Aktivitätsanalyse diesbezüglich besser einordnen und interpretieren zu können. Die Angaben werden dabei getrennt nach den beiden Versuchsreihen aufgeführt, da die weiteren Auswertungen durch die gezielte Variation des Versuchsdesigns der Versuchsreihen (siehe Kapitel 4.2.1) ebenfalls getrennt dargestellt werden.

Aus den Daten, die in VR1 erhoben wurden, werden insg. 29 Probanden für die beispielhafte Anwendung verwendet. Zu diesen Probanden werden jeweils drei Fahrstreifenwechsel (aus Runde 3, 4 und 6) betrachtet. Die Gesamtanzahl der zu analysierenden Fahrstreifenwechsel aus VR1 beträgt damit $FSW_{VR1} = 87$. In der zweiten Versuchsreihe (VR2) werden Daten zu insg. 40 Probanden für die beispielhafte Anwendung der Aktivitätsanalyse erhoben. Da zu den Versuchen aus VR2 nur zwei Runden je Proband aufgrund der Versuchsbedingungen ausgewertet werden können (vgl. Kapitel 4.2.1), ergibt sich eine Gesamtanzahl der zu analysierenden Fahrstreifenwechsel von $FSW_{VR2} = 80$.

Das Durchschnittsalter der Probanden aus VR1 (N=29) liegt bei 40,9 Jahren, bei einer Standardabweichung von 13,2 Jahren. Das maximale Alter beträgt 69 Jahre und der jüngste Proband ist 19 Jahre alt. In der Stichprobe befinden sich 18 Männer, was einem Anteil von 62,1% gegenüber 37,9% weiblicher Teilnehmer entspricht. Das durchschnittliche Alter der N=40 betrachteten Probanden aus VR2 beträgt 38,6 Jahre (Standardabweichung 13,3 Jahre und Spannweite des Alters

zwischen 21 und 63 Jahren). Der Anteil männlicher Probanden liegt bei 57,5% (23 der 40 Probanden), während 42,5% weiblich sind.

Tabelle 20 zeigt die Angaben der Probanden zu der durchschnittlich jährlichen Fahrleistung (in km). Es fällt bzgl. VR1 auf, dass über die Hälfte der Probanden zwischen 10.000km und 30.000km pro Jahr fährt. Weitere knapp 38% fahren jährlich nur zwischen 0km und 10.000km, während nur zwei der Probanden - dies entspricht 6,9% - über 40.000km durchschnittlich pro Jahr fahren. Bei der durchschnittlich jährlichen Fahrleistung bei den Probanden aus VR2 gibt es eher nur geringe Unterschiede zur Verteilung in VR1. Die häufigste Angabe zum entsprechenden Fragebogenitem ist in VR2 die Antwortmöglichkeit „10.000 - 20.000km“ und nicht „20.000 - 30.000km“ wie in VR1.

Tabelle 20: Übersicht der Angaben zur durchschnittlich jährlichen Fahrleistung in km der Probanden (Fragebogen)

Fahrleistung in km/Jahr	Prozentualer Anteil VR1 (N=29)	Prozentualer Anteil VR2 (N=40)
0 – 5.000km	17,2	15,0
5.000 – 10.000km	20,7	17,5
10.000 – 20.000km	24,1	32,5
20.000 – 30.000km	31,0	25,0
30.000 – 40.000km	-	5,0
über 40.000km	6,9	5,0

Die Übersicht zur Einschätzung der Probanden zu ihrem Fahrertyp, der angelehnt an die Festlegungen aus Bukasa und Wenninger (1985) eingeteilt wurde, kann in Tabelle 21 gefunden werden. Zu VR1 kann festgestellt werden, dass fast zwei Drittel sich als unauffällige Durchschnittsfahrer klassifizieren und nur vier bzw. fünf als defensiv-vorsichtig bzw. sportlich ambitioniert. Ein Proband bewertet seinen Fahrertyp als risikofreudig-aggressiv. Neben der Antwortmöglichkeit „unauffälliger Durchschnittsfahrer“, die in VR2 von 47,5% gewählt wurde, gibt es im Unterschied zu VR1 in VR2 eine zweite recht große Gruppe der „sportlich-ambitionierten Fahrer“ mit 32,5%. Die weiteren Angaben sind im Vergleich zu VR1 sehr ähnlich.

Tabelle 21: Übersicht der Angaben zur eigenen Einschätzung des Fahrertyps der Probanden aus VR1 (Fragebogen)

Fahrertyp (eigene Einschätzung)	Prozentualer Anteil VR1 (N=29)	Prozentualer Anteil VR2 (N=40)
Wenig routinierter-unentschlossener Fahrer	-	-
Defensiv-vorsichtiger Fahrer	13,8	12,5
Unauffälliger Durchschnittsfahrer	65,5	47,5
Sportlich-ambitionierter Fahrer	17,2	32,5
Risikofreudig-aggressiver Fahrer	3,4	-
keine eindeutige Angabe	-	7,5

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass aus den beiden Jahren Versuche mit N=69 Probanden durchgeführt wurden, die in die beispielhafte Anwendung der Aktivitätsanalyse einfließen. Gesamt werden Daten zu 167 Fahrstreifenwechseln betrachtet.

Bezogen auf die demografischen Daten und Angaben zur Fahrercharakteristika kann geschlussfolgert werden, dass sich die Kollektive der beiden Versuchsreihen recht ähnlich sind, weshalb nicht davon auszugehen ist, dass mögliche Unterschiede im Verhalten auf die unterschiedlichen Probanden der beiden Versuchsreihen zurückzuführen sind.

4.3. Datenaufbereitung und Datenanalyse zum Anwendungsbeispiel

Nach der Datenerhebung gilt es die Daten für das weitere Vorgehen aufzubereiten. Die Synchronität der CAN- und Blickbewegungsdaten wurde teilweise durch die Nutzung des Aufleuchtens der Lichthupe vor einer Wand und teilweise über den Abgleich des Geschwindigkeitssignals an einem

Stopp-Schild, welches auf der Versuchsstrecke aufgestellt war und dem entsprechenden Kamerabild, bei dem das Fahrzeug am Stopp-Schild zum Stehen kam, sichergestellt. Ein Teil der Daten wurde gemäß Sylla (2015) für die weitere Verarbeitung durch einen „Butterworth-Filter zweiter Ordnung mit einer Eckfrequenz von 2Hz“ geglättet, da bspw. Beschleunigungen „von den entsprechenden Sensoren nur schwach gefiltert weitergegeben“ werden. Andere Signale (bspw. die Pedalpositionen oder der Lenkradwinkel) konnten hingegen direkt weiterverarbeitet werden.

Bezogen auf das Beispielmanöver der Anwendung gilt es bei der Datenaufbereitung den Beginn des Fahrstreifenwechsels als relevanten Punkt in den Messdaten zu markieren. Zur Setzung des entsprechenden Daten-Flags wurde folgende Regel festgelegt: Als Beginn des Fahrstreifenwechsels wird der Zeitpunkt bezeichnet, bei dem die TLC bezogen auf die Fahrstreifenmarkierung am linken Rand des Fahrstreifens den Wert „0“ annimmt. Interpretiert werden kann dieser Zeitpunkt als Berührung der Fahrstreifenmarkierung mit dem linken Rad der Vorderachse. Nachdem an diesen Stellen in den zu betrachtenden Runden der Fahrstreifenwechselbeginn markiert wurde, galt es als nächstes den gewünschten Betrachtungszeitraum zu definieren. Gemäß Liebner et al. (2012) beträgt das Vorhersagepotential des Fahrtrichtungsanzeigers bzw. von Spiegelblicken bei einem Fahrstreifenwechsel durchschnittlich 3s bis 3,5s. Gibt es ein Vorderfahrzeug kann über das Annäherungsverhalten an dieses ein Vorhersagepotential von durchschnittlich bis zu über 7s erreicht werden. Aufgrund des Versuchsdesigns, bei dem mehrere aufeinanderfolgende Fahrstreifenwechsel vorgesehen sind (vgl. Abbildung 37), können zudem maximal rund 7s vor dem Markierungsübertritt (TLC=0) betrachtet werden, damit nicht von einer zu starken Beeinflussung des Verhaltens durch das Ende des vorherigen Manövers ausgegangen werden muss. Um die weiteren Aktivitäten während des Fahrstreifenwechsels inkl. der Aktivitäten zum Einlenken bzw. Ausrichten des Fahrzeugs im Zielfahrstreifen betrachten zu können, werden nach dem Markierungsübertritt noch 3s als Betrachtungszeitraum definiert. Hält sich der Fahrer an die Geschwindigkeitsvorgabe von 50km/h werden in den damit insgesamt betrachteten 10s insgesamt knapp 140m zurückgelegt. Knapp 100m davon fallen auf den Zeitraum vor dem Start des Manövers, in denen nach Mustern bzgl. der Prädiktion des Manövers gesucht werden kann.

Zur Analyse der vorliegenden Daten wurde ein projektinternes Tool, welches vom Projektpartner zur Verfügung gestellt wurde, verwendet. Abbildung 38 zeigt einen Screenshot des Tools, welches auf Basis von MatLab programmiert wurde. Im Auswertetool konnten die synchronisierten Daten aus dem CAN-Bus (maximal sechs Messgrößen gleichzeitig) und der Blickbewegungsmessung zeitsynchron angezeigt und analysiert werden. In Abbildung 38 sind beispielhaft die Daten Lenkradwinkel („steer_angle“ in [°]), Gaspedalposition („accel_position“ in [%]) und das binäre Signal des Fahrtrichtungsanzeigers („turn_sw“, der Wert „1“ steht dabei für das Signal nach links und ein Wert „2“ für das Signal nach rechts) dargestellt. In der rechten oberen Ecke der Abbildung kann zudem das aktuelle Bild der Blickbewegungskamera gesehen werden, auf dem das aktuelle Blickziel durch ein blaues Plus-Zeichen visualisiert ist.

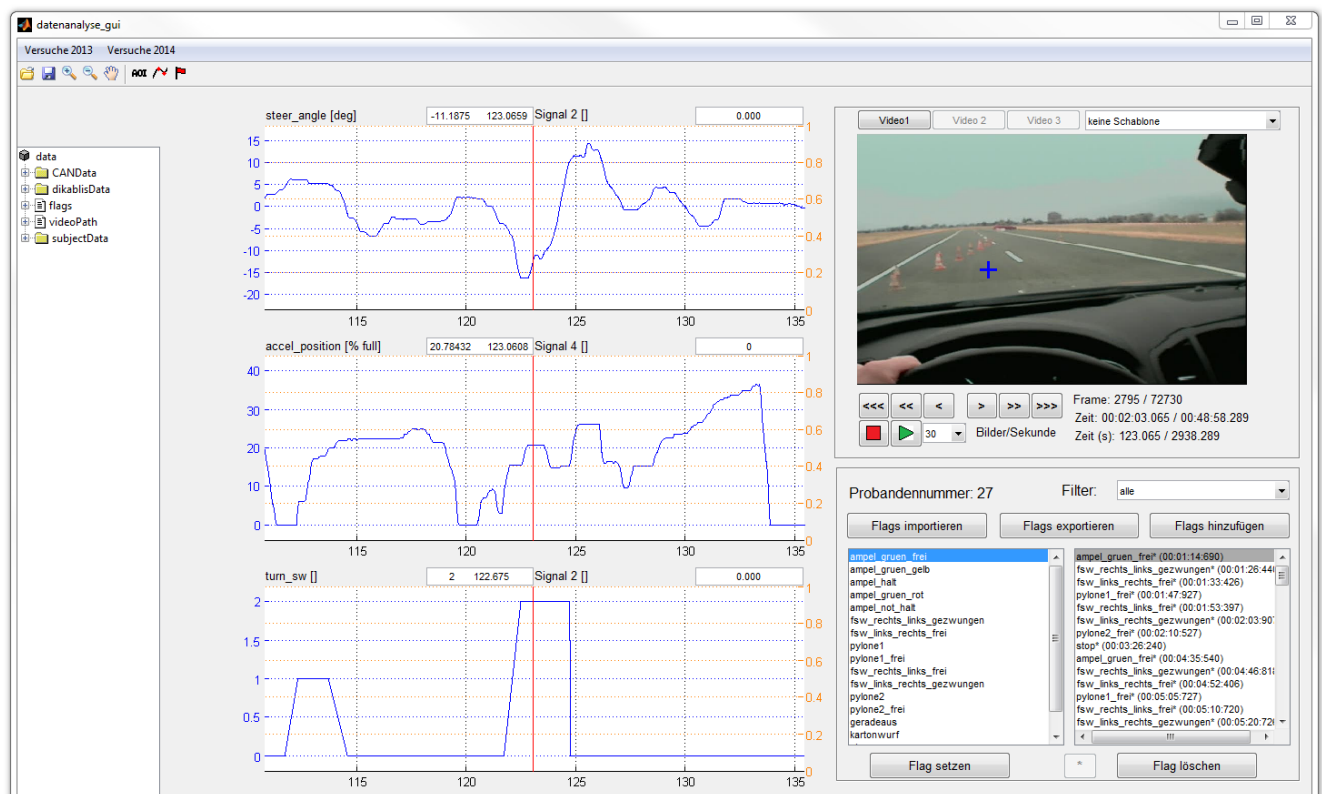


Abbildung 38: Screenshot des auf MatLab basierenden Auswertetools für CAN- und Blickbewegungsdaten

Zu der Darstellung der Blickbewegungsdaten sei noch darauf hingewiesen, dass die in Abbildung 38 dargestellte Variante die Daten des Systems *Dikablis* zeigt und somit zu den Versuchen des ersten Versuchsjahres gehört. Durch die Änderung hinsichtlich des Systems zur Blickbewegungsanalyse musste auch das Auswertetool für VR2 leicht angepasst werden. Die in VR2 verwendete Frontkamera zeigt einen statischen Ausschnitt des Bildes gerade aus dem Fahrzeug heraus und nicht mehr einen Ausschnitt, welcher wie bei dem System *Dikablis* mit einer Kopfdrehung des Probanden mitgeht. Die Information bzgl. der gerade fixierten Fixationsräume bzw. Fixationsobjekte konnte daher nicht mehr bzw. nur noch in den seltenen Fällen, in denen die Fixationen in dem dargestellten Bildausschnitt der Frontkamera lag, über das Video in der oberen rechten Ecke analysiert werden. Stattdessen wurde eine Erweiterung des Tools vom Projektpartner programmiert, in der die Informationen des gerade fixierten AOI über eine Art Balkendiagramm bzw. eine Visualisierung bezogen auf den Fahrzeuginnenraum dargestellt wird. Abbildung 39 zeigt die Erweiterung des Auswertetools für die Analyse der Blickbewegungsdaten der zweiten Versuchsreihe. In der Abbildung kann erkannt werden, dass die Fixation des aktuell vorliegenden Datenpunkts (hervorgehoben durch den roten Strich im unteren Teil der Abbildung) in das AOI „Frontscheibe rechts außen“ geht. Vor dieser Fixation liegen Fixationen der AOI „Rückspiegel“, „Frontscheibe_vor_Fahrer“ und „Cluster“. Im späteren Verlauf gibt es eine überlagerte Fixation von den AOI „Seitenscheibe_links“ und „Außenspiegel_links“. In einem solchen Fall, in dem vom System zwei AOI detektiert werden, da diese teilweise sich überschneiden oder die AOI hintereinander liegen, gilt es das aussagekräftigere AOI zu bevorzugen. In dem gezeigten Beispiel wäre dies der „Außenspiegel_links“. In der rechten oberen Ecke von Abbildung 39 wird zudem grob die aktuelle horizontale Kopfdrehung aus einer Art Vogelperspektive dargestellt. Im linken oberen Bereich ist der Fahrzeuginnenraum dargestellt, in dem die möglichen AOI farblich hervorheben werden, sofern sie über einen längeren Zeitraum fixiert werden.

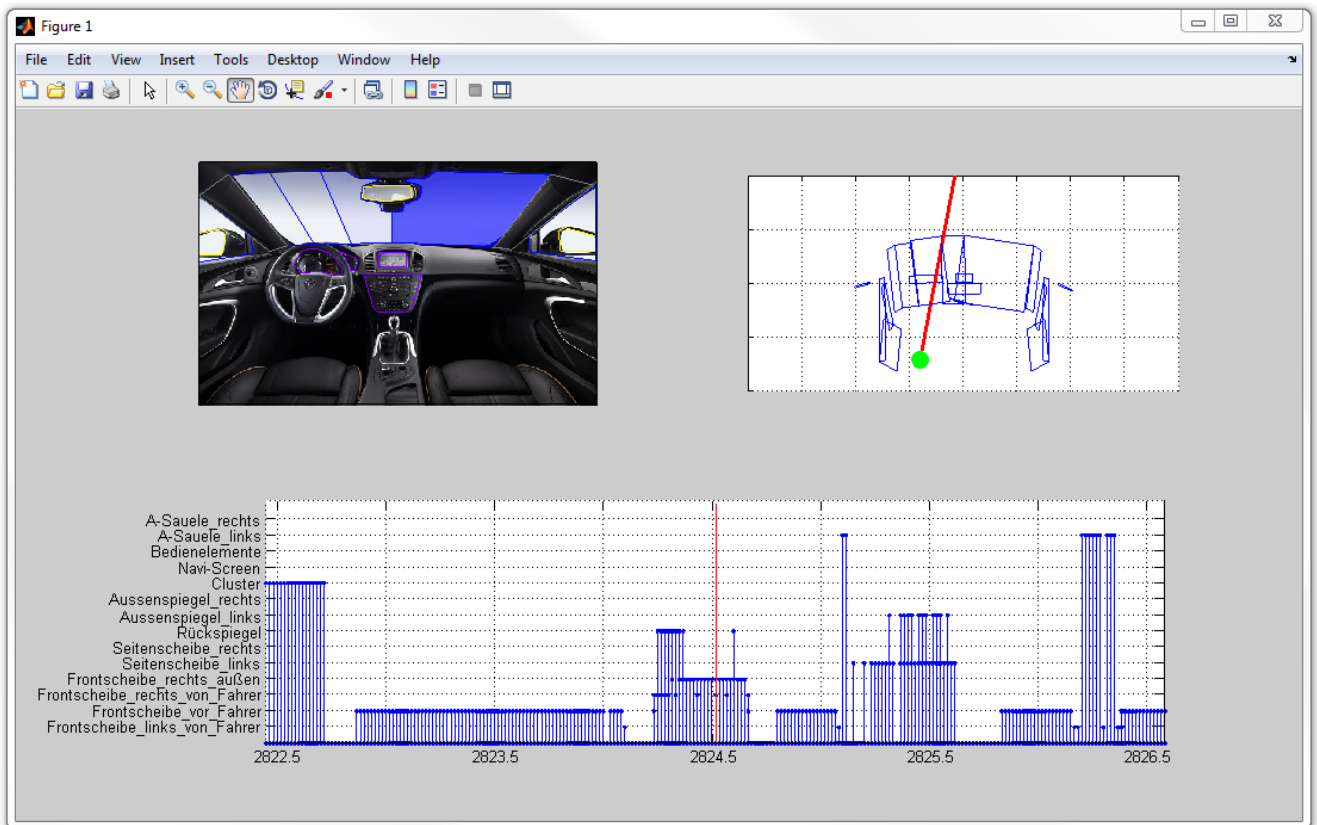


Abbildung 39: Screenshot zur Erweiterung des auf MatLab basierenden Auswertetools zur Analyse der Blickbewegungsdaten der zweiten Versuchsreihe

Bezogen auf die in Kapitel 3.3 angesprochene Mindestanforderung an die Datenqualität muss für die Versuchsdaten zu VR2 noch eine Einschränkung durchgeführt werden. Während der detaillierten Analyse der Blickbewegungsdaten fiel auf, dass im betrachteten Zeitraum an manchen Stellen Lücken in den Blickdaten vorkommen. Die identifizierten Lücken rühren nach eingehender Prüfung nicht nur von einem Blinzeln der Probanden, sondern müssen teilweise einer Schwachstelle innerhalb der Messtechnik zugerechnet werden. Es scheint, als ob die Blickbewegungsanalysesysteme hinsichtlich der Datenqualität besonders bei starker Sonneneinstrahlung oder auch bei seitlichen Blicken, bei denen eine stärkere horizontale Kopfdrehung vorliegt, Probleme besitzen. Damit eine ausreichend hohe Aussagekraft der verwendeten Daten sichergestellt werden kann, werden zwei Forderungen an die Qualität der Blickdaten aufgestellt. Die erste Forderung zielt primär darauf ab, sicherzustellen, dass keine Fehler bei der Analyse des zeitlichen Bezugs der Blickdaten untereinander oder zu anderen Aktivitäten gemacht werden. Es wird gefordert, dass die Zeitspanne, in denen Blickaktivitäten gefunden werden können mindestens 80% des Betrachtungszeitraums abdecken müssen. Andernfalls könnte es dazu kommen, dass fälschlicherweise Muster durch Häufungen von Aktivitäten zu Beginn oder Ende des Manövers gefunden werden, die aber nur durch das Fehlen der weiteren Aktivitäten zustande kamen. Die zweite Forderung betrifft die kumulierte Dauer der ermittelbaren Blickaktivitäten. Liegt diese unterhalb von 50% der gesamten Dauer des Betrachtungszeitraums von rund 10s, wird der betreffende Fahrstreifenwechsel nicht weiter betrachtet, da ansonsten sehr lückenhafte Daten in die Auswertung einfließen würden. Bezogen auf VR2 werden daher nur 40 Fahrstreifenwechsel von 20 Probanden hinsichtlich der Blickdaten ausgewertet, um eine ausreichend hohe Qualität und damit Aussagekraft der Daten zu sichern. Die Probleme bzgl. der Datenqualität werden in Kapitel 5.1.4 erneut aufgegriffen. Ergänzend zu den Regeln bzgl. dem Ausschluss von Probanden sollen für die vorliegenden Messdaten und deren teilweise nicht optimale Datenqualität, besondere Regeln bzgl. der Identifikation der Aktivitäten der Klasse I aufgestellt werden. Wie in Kapitel 3.3 bereits festgelegt, müssen Aktivitäten der Klasse I eine Minstdauer von 0,15s aufweisen, um als Aktivität gezählt zu werden. Bzgl. der Datenqualität wird gefordert, dass in den 0,15s

mindesten 50% der einzelnen Datenpunkte vorhanden sein müssen, damit die Aktivität gezählt wird. Sind weniger Datenpunkte innerhalb der Aktivität, die die Mindestdauer überschreitet vorhanden, so wird aus Gründen der geforderten Qualität und Aussagekraft der Daten die Aktivität vernachlässigt. Durch die bereits angesprochenen Probleme bei seitlichen Blicken wird diese Forderung bei eben jenen seitlichen Blicken etwas gelockert. Neben der angepassten Mindestdauer der Fixation auf 100ms, werden nur mindesten 25% vorhandene Datenpunkte gefordert, damit trotz der vorhandenen Probleme nicht zu viele potentielle Fixationen ausgeschlossen werden.

Für die eigentliche Identifizierung der Aktivitäten können die Versuchsdaten zu den einzelnen Probanden im Auswertetool geladen und daraufhin entsprechend der zuvor definierten Regeln im festgelegten Zeitraum um den Manöverbeginn betrachtet werden. Das Vorgehen inkl. der Beachtung der aufgestellten Regeln wird nachfolgend am Beispiel eines Lenkradwinkelverlaufs erläutert. Abbildung 40 zeigt dazu den Graphen des Lenkradwinkelsignals (in Farbe Blau) im Betrachtungszeitraum (Markierungsübertritt bei 1220,3s und daher betrachtete Versuchszeit 1213,3s bis 1223,3s) eines der Fahrstreifenwechsel. In der Abbildung ist zusätzlich dargestellt, welche Abschnitte des Verlaufs unter Berücksichtigung der Regeln als einzelne Aktivitäten identifiziert werden (rot gestrichelt) und welche zeitlich zu kurzen bzw. von der Lenkradwinkelveränderung zu geringen potentiellen Aktivitäten nicht berücksichtigt bleiben.

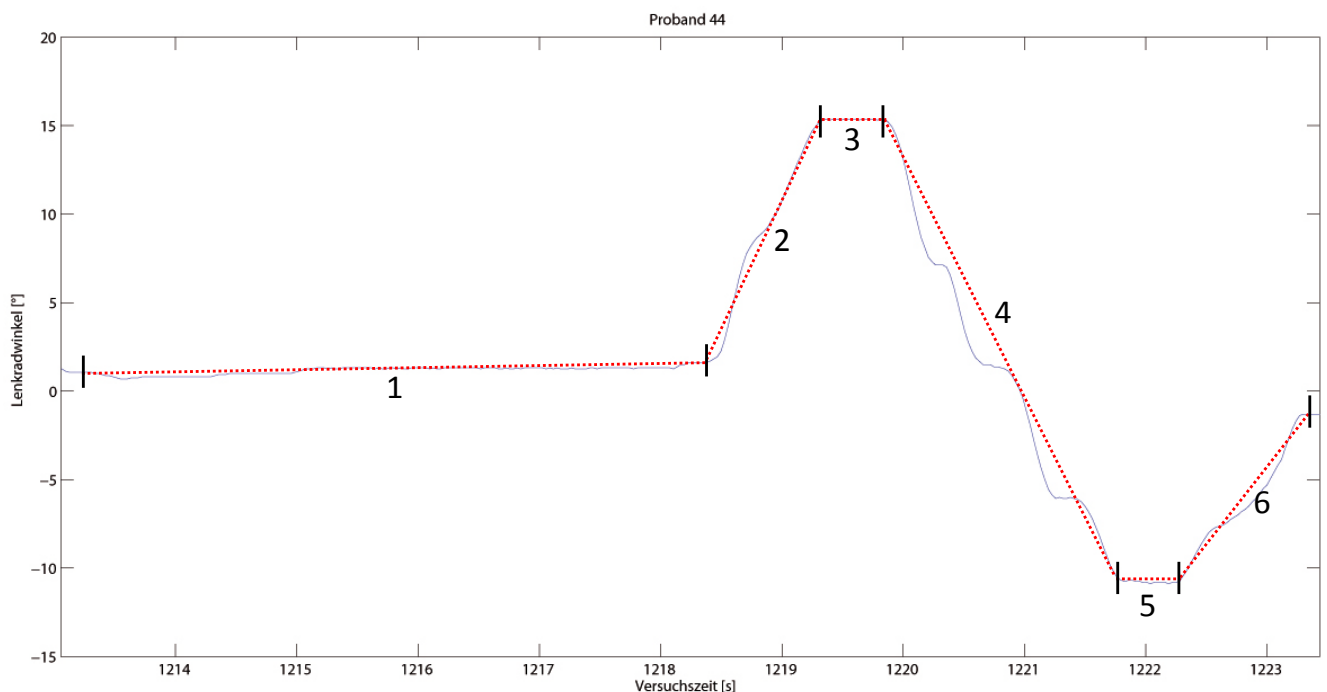


Abbildung 40: Ausschnitt des Signals Lenkradwinkel über der Versuchszeit und Identifikation der vorhandenen Aktivitäten

Die insgesamt sechs Aktivitäten, die bezogen auf Abbildung 40 identifiziert wurden, werden hinsichtlich der Vorgaben aus dem Aktivitätskatalog klassifiziert. Dazu bedarf es der Identifikation der relevanten Kenngrößen der Aktivitäten. Diese sind in einem ersten Schritt die Zeit zu Beginn und Ende der Aktivität und der Lenkradwinkel zu Beginn und Ende der Aktivität (siehe Tabelle 22). Aus diesen Kenngrößen können die erforderlichen Ausprägungen der Eigenschaften der Katalogklasse Q (Aktion der Hand, Lenkradwinkelgeschwindigkeit, Lenkradwinkelveränderung, Bereich der Ausgangsposition, Winkel der Ausgangsposition und Aktivitätsdauer) ermittelt werden. Die Handwahl bleibt unberücksichtigt (siehe dazu auch Kapitel 4.2.2).

Tabelle 22: Übersicht der relevanten Kenngrößen zu den sechs identifizierten Aktivitäten zum Beispiel der Katalogklasse Q

#	Kurz- bezeichnung	Zeit- Beginn [s]	Zeit- Ende [s]	Dauer [s]	LRW- Beginn [°]	LRW- Ende [°]	LRW- Veränderung [°]	LRW- Geschw. [°/s]
1	konstant halten	1213,2	1218,4	5,2	1,06	1,63	0,57	0,11
2	drehen links	1218,4	1219,4	1,0	1,63	15,38	13,75	13,75
3	konstant halten	1219,4	1219,9	0,5	15,38	15,38	0,00	0,00
4	drehen rechts	1219,9	1221,8	1,9	15,38	-10,75	-26,13	-13,20
5	konstant halten	1221,8	1222,3	0,5	-10,75	-10,75	0,00	0,00
6	drehen links	1222,3	1223,3	1,0	-10,75	-1,31	9,44	9,25

Nachdem die Kenngrößen identifiziert sind, gilt es die Daten im Sinn des Katalogs zu klassifizieren und die entsprechenden Codes zu ermitteln. Für die dargestellten sechs Aktivitäten können die Codes Tabelle 23 entnommen werden.

Tabelle 23: Code der sechs identifizierten Aktivitäten zum Beispiel der Katalogklasse Q

#	Kurz- bezeichnung	W	H	G	L	B	S	D	Gesamtcode
1	konstant halten	Wx	H4	G1	L1	B3	S1	D6	Q-Wx-H4-G1-L1-B3-S1-D6
2	drehen links	Wx	H5	G3	L4	B3	S1	D3	Q-Wx-H5-G3-L4-B3-S1-D3
3	konstant halten	Wx	H4	G1	L1	B1	S3	D2	Q-Wx-H4-G1-L1-B1-S3-D2
4	drehen rechts	Wx	H6	G3	L4	B1	S3	D4	Q-Wx-H6-G3-L4-B1-S3-D4
5	konstant halten	Wx	H4	G1	L1	B2	S3	D2	Q-Wx-H4-G1-L1-B2-S3-D2
6	drehen links	Wx	H5	G2	L3	B2	S3	D3	Q-Wx-H5-G2-L3-B2-S3-D3

Ein weiteres Beispiel zur Aktivitätsermittlung zur Katalogklasse Längsführung ist in Anhang G zu finden. Alle ermittelten Aktivitäten der einzelnen Runden und Probanden inkl. der jeweiligen Zeitstempel, in denen notiert wird, wann die Aktivität bezogen auf den Manöverbeginn durchgeführt wird, werden in einer Excel-basierten Tabelle für die weitere Analyse gesammelt. Die Datenanalyse und damit verbundene Identifikation der vorhandenen Aktivitäten wurde durch die studentischen Arbeiten Holzheimer (2014), Bauer (2016) und Sommer (2016) unterstützt.

4.4. Auswertung der analysierten Daten hinsichtlich der Hypothesen

Kapitel 4.4 behandelt die Auswertung der zuvor analysierten Daten hinsichtlich der in Kapitel 4.1 formulierten Hypothesen. Die Hypothesen werden auf Basis der Daten innerhalb der erstellten Tabelle, in der die Aktivitäten der analysierten Runden der Probanden eingetragen wurden, ausgewertet. Für die Hypothesen wird ein Test auf Binomialverteilung mit dem jeweiligen Testanteil, der auf den in der Hypothese geforderten Werten beruht mit der Statistiksoftware SPSS (Version 20) durchgeführt, um die Aussagen statistisch abzusichern. Wird auf einen Testanteil von 50% getestet, muss die im Test ermittelte Irrtumswahrscheinlichkeit für die Interpretation des Tests halbiert werden, was im weiteren Verlauf ohne zusätzliche Hinweise getan wird. Für Hypothese HK8 wird bzgl. des Testanteils ein Wert von 0,001 beim Test verwendet, da dies in SPSS der kleinstmögliche Testanteil bei einem Test auf Binomialverteilung ist und der Wert „0“ nicht angegeben werden kann. Bezogen auf das Ergebnis der Hypothese wird immer eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,05$ als Grenzwert festgelegt. Weiterführende Informationen zum Test auf Binomialverteilung können bspw. Eckstein (2016) entnommen werden.

Aufgrund der in Kapitel 4.2.1 dargestellten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsreihen, werden die Hypothesen für beide Versuchsreihen nachfolgend getrennt ausgewertet und die Ergebnisse entsprechend ebenfalls getrennt dargestellt.

Zu den Hypothesen wird jeweils eine kompakte Tabelle bzgl. der betrachteten Fälle, der zutreffenden Fälle, dem entsprechenden prozentualen Anteil, der Forderung aus der zugrundeliegenden Tabelle und

der Aussage bzgl. der Irrtumswahrscheinlichkeit des Statistiktests dargestellt. Ausgehend von den in der Auswertung ermittelten Werten und von dem Statistiktest kann die Hypothese daraufhin für die einzelne Versuchsreihe angenommen oder verworfen werden.

Hypothesen zu den betrachteten Katalogklassen (HK)

HK1: Der linke Außenspiegel wird beim Fahrstreifenwechsel nach links im Betrachtungszeitraum mindestens in 75% der Fälle einmalig fixiert

Tabelle 24: Auswertungstabelle zu Hypothese HK1

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	75	86,2%	$\geq 75\%$	0,008
VR2	40	17	42,5%		< 0,001

Gemäß Tabelle 24 unterscheiden sich beide beobachtete Anteile der Versuchsreihen signifikant von dem Wert, der in der Hypothese gefordert ist. Während bzgl. VR1 signifikant mehr positive Fälle auftreten und die Hypothese mit der Mindestforderung von 75% positiver Fälle demnach angenommen werden kann, zeigt sich für VR2, dass signifikant weniger Fixationen des linken Außenspiegels stattfinden. HK1 wird demnach für VR2 verworfen.

Als zusätzliche Information kann gegeben werden, dass in VR1 im Betrachtungszeitraum in 48 Fällen einmal, in 24 Fällen zweimal und in 3 Fällen dreimal in den linken Außenspiegel geschaut wurde. Zudem kam es zu einer einzelnen Fixation des rechten Außenspiegels. Von den 17 Probanden aus VR2, die den linken Außenspiegel mindestens einmalig fixiert haben, haben zehn eine einmalige, drei eine doppelte, drei eine dreifache und einer sogar eine vierfache Fixation am linken Außenspiegel durchgeführt. Eine Fixation des rechten Außenspiegels trat in VR2 nicht auf.

HK2: Eine Fixation des Innenspiegels ist im Betrachtungszeitraum eine in mindestens 50% der Fälle auftretende Aktivität

Tabelle 25: Auswertungstabelle zu Hypothese HK2

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	21	24,1%	$\geq 50\%$	< 0,001
VR2	40	23	57,5%		0,215

Tabelle 25 zeigt, dass bezogen auf VR1 signifikant weniger Innenspiegelfixationen aufgetreten sind als gefordert. Hypothese HK2 wird für VR1 daher verworfen. Zu VR2 kann Tabelle 25 entnommen werden, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem geforderten Wert (mindestens 50%) und dem beobachteten Wert von 57,5% gibt, weshalb Hypothese HK2 für VR2 angenommen wird. Die genauere Betrachtung der positiven Fälle zeigt, dass in VR1 17mal eine einzelne Fixation vorliegt, während viermal der Innenspiegel doppelt fixiert wurde. In VR2 kommt es bei 23 Probanden zu insg. 34 Fixationen des Innenspiegels (16x einzeln, 3x doppelt und 4x dreifach).

HK3: Ein Blick über die linke Schulter kommt im Betrachtungszeitraum in mindestens 33% der Fahrstreifenwechsel nach links vor

Tabelle 26: Auswertungstabelle zu Hypothese HK3

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	23	26,4%	$\geq 33\%$	0,116
VR2	40	7	17,5%		0,023

Für VR1 kann Hypothese HK3 angenommen werden, da gemäß Tabelle 26 kein signifikanter Unterschied zwischen Beobachtung und Forderung besteht. Bezogen auf die zweite Versuchsreihe zeigen die Daten einen signifikanten Unterschied und durch die Tatsache, dass die beobachteten positiven Fälle geringer als die Mindestforderung von 33% sind, wird die Hypothese für VR2 verworfen.

In VR1 kam es in drei Fällen zu einem doppelten Blick über die linke Schulter im Betrachtungszeitraum, während in VR2 dieser Sachverhalt in zwei Fällen festgestellt werden konnte.

HK4: Bei einem Fahrstreifenwechsel nach links wird im Betrachtungszeitraum in mindestens 50% der Fälle vor dem Markierungsübertritt mindestens einmal der vorausliegende Zielfahrstreifen fixiert

Tabelle 27: Auswertungstabelle zu Hypothese HK4

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	55	63,2%	$\geq 50\%$	0,009
VR2	40	23	57,5%		0,215

Hypothese HK4 wird für beide Versuchsreihen angenommen. Während gemäß Tabelle 27 für VR1 festgestellt werden kann, dass signifikant mehr positive Fälle als gefordert vorhanden sind, zeigt sich bzgl. VR2 kein signifikanter Unterschied zum geforderten Anteil von mindestens 50%.

HK5: Der absolute Lenkradwinkel erreicht bei den betrachteten Fahrstreifenwechseln in mindestens 75% der Fälle mindestens 10°

Tabelle 28: Auswertungstabelle zu Hypothese HK5

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	33	37,9%	$\geq 75\%$	$< 0,001$
VR2	80	20	25%		$< 0,001$

Aus Tabelle 28 geht hervor, dass für beide Versuchsreihen signifikant weniger absolute Lenkradwinkel als die geforderten 75% der Fälle mindestens 10° erreichen. Hypothese HK5 wird daher für beide Versuchsreihen verworfen.

Der absolute Lenkradwinkel erreicht in VR1 einen Mittelwert von 9,08° bei einer Standardabweichung von 3,11°. Für VR2 beträgt der Mittelwert 8,25° und die Standardabweichung 3,23°. Um die mindestens geforderten 75% zu erreichen, müsste der geforderte absolute Lenkradwinkel in beiden Versuchsreihen auf 6° reduziert werden.

HK6: Eine zunächst kleinere Lenkradbewegung von maximal 10° nach links, welche entweder direkt oder nach einem annähernd konstant Halten des Lenkrads etwas zeitverzögert von einer größeren Lenkradbewegung gefolgt ist, während derer der absolute Lenkradwinkel über 10° nach links steigt, kann beim Fahrstreifenwechsel nach links im Betrachtungszeitraum in mindestens 25% der Fälle gefunden werden.

Tabelle 29: Auswertungstabelle zu Hypothese HK6

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	8	9,2%	$\geq 25\%$	$< 0,001$
VR2	80	8	10%		0,001

Gemäß Tabelle 29 wird Hypothese HK6 für beide Versuchsreihen verworfen, da beide Male signifikant weniger positive Fälle als in der Hypothese gefordert gefunden werden. Dies bedeutet, dass die Kombination aus einer ersten Lenkaktivität mit kleinem Lenkradwinkel (2° bis 10°), die von einer zweiten Lenkaktivität mit größerem Lenkradwinkel (über 10°) gefolgt wird, nur sehr selten auftritt.

HK7: Eine einzelne Änderung der Gaspedalstellung größer als 10% des Pedalwegs tritt im Betrachtungszeitraum in weniger als 10% der Fälle auf

Tabelle 30: Auswertungstabelle zu Hypothese HK7

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	59	67,8%	$\leq 10\%$	$< 0,001$
VR2	80	55	68,8%		$< 0,001$

Gemäß Tabelle 30 kommt es in beiden Versuchsreihen signifikant häufiger als 10% zu einer einzelnen Änderung der Gaspedalstellung größer als 10% des Pedalwegs. Daher wird Hypothese HK7 für beide Versuchsreihen verworfen.

HK8: Im Betrachtungszeitraum können keine Aktivitäten am Bremspedal gefunden werden

Tabelle 31: Auswertungstabelle zu Hypothese HK8

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	2	2,3%	$< 0,001\%$	0,004
VR2	80	1	1,3%		0,077

Der Test auf Binomialverteilung zeigt zu VR1 gemäß Tabelle 31, dass signifikant mehr Betätigungen als gefordert stattfinden und daher Hypothese HK8 für VR1 abgelehnt wird. Für VR2 kann wiederum kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Hypothese HK8 wird daher für die zweite Versuchsreihe angenommen.

HK9: Der linke Fahrtrichtungsanzeiger wird in mindestens 50% der Fälle im Betrachtungszeitraum des Fahrstreifenwechsels nach links bestätigt

Tabelle 32: Auswertungstabelle zu Hypothese HK9

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	28	32,2%	$\geq 50\%$	0,001
VR2	80	65	81,3%		< 0,001

Tabelle 32 kann entnommen werden, dass die beiden beobachteten Anteile von 32,2% aus VR1 und 81,3% aus VR2 signifikant unterschiedlich zur Forderung von mindestens 50% sind. Da es sich um eine Mindestforderung handelt, wird Hypothese HK9 für VR1 abgelehnt und für VR2 angenommen.

Hypothesen zur Reihenfolge einzelner charakteristischer Aktivitäten (HR)

HR1: Mindestens eine der Fixationen des Innen- oder linken Außenspiegels passiert in mindestens 75% der Fälle vor dem Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers nach links

Tabelle 33: Auswertungstabelle zu Hypothese HR1

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	28	26	92,9%	$\geq 75\%$	0,017
VR2	29	25	86,2%		0,115

Tabelle 33 zeigt, dass Hypothese HR1 für beide Versuchsreihen angenommen wird. Im Bezug auf VR1 finden signifikant mehr Fälle in der postulierten Reihenfolge als die Forderung statt. Bzgl. VR2 wird kein signifikanter Unterschied zwischen der Forderung und der Beobachtung festgestellt.

HR2: Nach einer ersten Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels und einer anschließenden Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers nach links folgt in mindestens 75% der Fälle mindestens eine weitere Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels

Tabelle 34: Auswertungstabelle zu Hypothese HR2

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	19	9	47,4%	$\geq 75\%$	0,009
VR2	16	13	81,3%		0,405

Die Hypothese HR2 wird für VR1 verworfen, da gemäß Tabelle 34 signifikant weniger positive Fälle als gefordert beobachtet wurden. Dagegen kann HR2 für VR2 angenommen werden. Der Test auf Binomialverteilung zeigt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen Forderung und Beobachtung besteht.

Zu VR1 muss noch der Hinweis gegeben werden, dass eine Runde eines Probanden unberücksichtigt bleibt, obwohl alle einzelnen Aktivitäten in den Daten gefunden wurden, da eine doppelte Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers vorlag und bezogen auf eine der beiden Betätigungen die Bedingungen der Hypothese eintreffen, während sie für die andere Betätigung nicht bestätigt werden können.

HR3: Einem Blick über die linke Schulter geht in mindestens 75% der Fälle mindestens eine Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels voraus

Tabelle 35: Auswertungstabelle zu Hypothese HR3

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	18	18	100%	$\geq 75\%$	0,006
VR2	7	5	71,4%		0,555

Für beide Versuchsreihen kann Hypothese HR3 angenommen werden (siehe Tabelle 35). Im Fall von VR1 gibt es signifikant mehr Beobachtungen hinsichtlich der Reihenfolge als gefordert. Bezogen auf VR2 kann kein signifikanter Unterschied zwischen dem Anteil an positiven Fällen und der Forderung aus der Hypothese festgestellt werden.

Erneut musste eine einzelne Runde eines Probanden aus der Auswertung ausgeschlossen werden, da ansonsten widersprüchliche Aussagen bezogen auf zwei Schulterblicke in den Daten entstanden wären.

HR4: Dem Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung des Zielfahstreifens geht in mindestens 75% der Fälle mindestens eine Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels voraus

Tabelle 36: Auswertungstabelle zu Hypothese HR4

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	76	57	75%	$\geq 75\%$	0,544
VR2	33	21	63,6%		0,099

Tabelle 36 zeigt, dass Hypothese HR4 für beide Versuchsreihen anzunehmen ist. Der Test auf Binomialverteilung zeigt jeweils keinen signifikanten Unterschied zwischen dem geforderten und dem beobachteten Anteil.

Während der Auswertung zeigte sich, dass die Identifikation des eindeutigen Lenkbeginns etwas schwierig sein kann, da teilweise mehrere Lenkrichtungswechsel oder kleinere, aus Sicht des eigentlichen Lenkbeginns unbedeutende Vorlenkaktivitäten im Betrachtungszeitraum vorhanden sind. Die exakten Werte der maximalen Lenkradwinkel wurden daher ergänzend betrachtet und es wurde bei wenig eindeutigen Daten der Start der größten positiven Lenkradwinkelveränderung als „Start des eigentlichen Auslenkens“ interpretiert.

HR5: Dem Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung des Zielfahstreifens geht in mindestens 75% der Fälle mindestens eine Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers voraus

Tabelle 37: Auswertungstabelle zu Hypothese HR5

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	28	4	14,3%	$\geq 75\%$	< 0,001
VR2	65	26	40%		< 0,001

Hypothese HR5 wird gemäß Tabelle 37 für beide Versuchsreihen abgelehnt. Für beide Versuchsreihen wird ein signifikant geringerer Anteil als gefordert festgestellt.

Erneut muss notiert werden, dass die Identifikation des Lenkbeginns nicht immer eindeutig ist (siehe Hinweise bei HR4).

Hypothesen zur Frühzeitigkeit einzelner charakteristischer Aktivitäten (HF)

HF1: Die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers wird in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3,75s und 1,25s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn durchgeführt

Tabelle 38: Auswertungstabelle zu Hypothese HF1

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	29	25	86,2%	$\geq 75\%$	0,115
VR2	65	53	81,5%		0,140

Bzgl. der Frühzeitigkeit der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers kann Tabelle 38 entnommen werden, dass für beide Versuchsreihen die Mindestforderung von 75% der Betätigungen im Zeitraum zwischen 3,75s und 1,25s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn angenommen werden kann. In beiden Versuchsreihen besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Forderung und dem beobachteten Anteil.

HF2: Die Fixationen des linken Außenspiegels finden in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 5s und 2s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn statt

Tabelle 39: Auswertungstabelle zu Hypothese HF2

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	105	68	64,8%	$\geq 75\%$	0,012
VR2	29	12	41,4%		< 0,001

Gemäß Tabelle 39 wird Hypothese HF2 für VR1 verworfen, da ein signifikanter Unterschied zwischen Beobachtung und Forderung festgestellt wird und der beobachtete Anteil unter der Forderung liegt. Für VR2 wird festgehalten, dass ebenfalls bei signifikant weniger als 75% der Fälle die Fixation in der Zeitspanne zwischen 5s und 2s vor dem Manöverbeginn zu finden ist. Somit wird Hypothese HF2 für VR2 verworfen.

HF3: Blicke über die linke Schulter können in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3s und 1,5s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn gefunden werden

Tabelle 40: Auswertungstabelle zu Hypothese HF3

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	22	16	72,7%	$\geq 75\%$	0,483
VR2	9	4	44,4%		0,049

Der Test auf Binomialverteilung ergibt für VR1 keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Anteil an erwarteten und beobachteten Fällen für beide Versuchsreihen, wodurch Hypothese HF3 für VR1 angenommen wird (siehe Tabelle 40). Zu VR2 wird festgestellt, dass signifikant weniger positive Fälle als in der Forderung der Hypothese auftreten, weshalb Hypothese HF3 für VR2 abgelehnt wird. Hierzu ist jedoch zu beachten, dass bzgl. VR2 nur neun Fälle betrachtet werden konnten und daher die Aussagekraft des Ergebnisses als eher niedrig eingeschätzt werden muss.

HF4: Der Start des eigentlichen Auslenkens in Richtung Zielfahrstreifen wird in mindestens 75% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3s und 1s vor dem Fahrstreifenwechselbeginn durchgeführt

Tabelle 41: Auswertungstabelle zu Hypothese HF4

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv	Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
VR1	87	61	70,1%	$\geq 75\%$	0,176
VR2	78	44	56,4%		< 0,001

Gemäß Tabelle 41 kann Hypothese HF4 für VR1 angenommen werden, da kein signifikanter Unterschied zwischen der Forderung von mindestens 75% und dem beobachteten Anteil von 70,1% festgestellt wird. Für VR2 wird die Hypothese dagegen verworfen, da der Test auf Binomialverteilung zeigt, dass signifikant weniger positive Fälle, als in der Hypothese gefordert, auftreten. Zu zwei Probanden aus VR2 konnte kein „Start des eigentlichen Auslenkens“ ermittelt werden, da die vorhandenen Lenkradwinkelveränderungen unter dem im Katalog definierten Grenzwert von 2° geblieben sind, weshalb sich die Gesamtfallanzahl auf 78 verringert.

Eine detaillierte Übersicht zu der zeitlichen Verteilung der charakteristischen Aktivitäten, die auch in den Hypothesen HF1-HF4 untersucht wurden, kann Kapitel 5.1.2 entnommen werden.

Hypothesen zur Gleichmäßigkeit des Probandenverhaltens (HG)

Zu der allgemeinen Hypothese HG (Mindestens 75% der betrachteten Probanden verhalten sich gleichmäßig, indem sie die Aktivität „_____“ bezogen auf Wiederholungen entweder immer mindestens einmal oder niemals ausführen), bei der ein Platzhalter für insg. neun verschiedene Aktivitäten verwendet wurde, werden nachfolgend die einzelnen Ergebnisse zu den Aktivitäten dargestellt. Wie bereits in Kapitel 4.2.1 beschrieben, werden hierzu bei VR1 drei Runden der Probanden und bei VR2 zwei Runden der Probanden auf Gleichmäßigkeit überprüft.

Bezogen auf die Hypothesen, die auf Daten beruhen, die der Katalogklasse I zugerechnet werden (HG1-HG4), muss für VR2 festgehalten werden, dass aufgrund der teilweise eher mangelhaften Datenqualität der Blickdaten (vgl. Kapitel 4.3) nur insg. 14 Fälle betrachtet werden können und die Aussagekraft der Hypothesen daher etwas eingeschränkt ist. Bezogen auf VR1 können alle insg. 29 betrachteten Probanden ausgewertet werden.

HG1: Fixation des linken Außenspiegels

Tabelle 42: Auswertungstabelle zu Hypothese HG1

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	21	1	22	75,9%	$\geq 75\%$	0,557
VR2	14	4	3	7	50%		0,038

Aus Tabelle 42 geht hervor, dass sich bzgl. VR1 22 der 29 Probanden gleichmäßig verhalten. 21 dieser 22 Probanden fixieren den linken Außenspiegel dabei in jeder Runde. Bezogen auf die Hypothese kann kein signifikanter Unterschied zur Verteilung in VR1 festgestellt werden, weshalb HG1 für VR1 angenommen wird. Zu VR2 kann festgehalten werden, dass HG1 abgelehnt wird, da der beobachtete Anteil bzgl. der Gleichmäßigkeit der Fixationen des linken Außenspiegels signifikant geringer ist, als der geforderte Anteil. Nur sieben der 14 Probanden verhalten sich gemäß Tabelle 42 gleichmäßig, wobei viermal eine Fixation in allen Runden und dreimal in keiner Runde vorkommt.

HG2: Fixation des Innenspiegels

Tabelle 43: Auswertungstabelle zu Hypothese HG2

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	1	13	14	48,3%	$\geq 75\%$	0,002
VR2	14	6	3	9	64,3%		0,258

Gemäß Tabelle 43 wird die Hypothese HG2 für VR1 verworfen, da signifikant weniger gleichmäßiges Verhalten als gefordert festgestellt wird. Nur knapp die Hälfte der Probanden verhalten sich gleichmäßig über die betrachteten Runden. Im Fall von VR2 ist der Anteil der Fälle, in denen ein gleichmäßiges Verhalten vorliegt mit 64,3% nicht signifikant unterschiedlich zur Forderung in der Hypothese (mind. 75%). Daher wird HG2 für VR2 angenommen.

HG3: Blick über die linke Schulter

Tabelle 44: Auswertungstabelle zu Hypothese HG3

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	6	19	25	86,2%	$\geq 75\%$	0,115
VR2	14	1	8	9	64,3%		0,258

HG3 wird für beide Versuchsreihen angenommen, da jeweils kein signifikanter Unterschied zwischen beobachtetem und gefordertem Anteil gefunden wird (siehe Tabelle 44). Das Verhalten bzgl. Schulterblicken ist demnach recht gleichmäßig. Hierbei muss jedoch betont werden, dass die positiven Fälle bzgl. der Gleichmäßigkeit zu einem großen Anteil durch Probanden entstanden sind, die in keiner Runde einen Schulterblick getätigt haben. Dies hängt auch damit zusammen, dass insg. eher wenige Blicke über die linke Schulter in den Versuchen zu beobachten waren.

HG4: Fixation des Zielfahrtstreifens vor dem Markierungsübertritt

Tabelle 45: Auswertungstabelle zu Hypothese HG4

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	14	5	19	65,5%	$\geq 75\%$	0,166
VR2	14	6	3	9	64,3%		0,258

Wie in Tabelle 45 ersichtlich, wird auch Hypothese HG3 für beide Versuchsreihen angenommen, da kein signifikanter Unterschied zwischen Beobachtung und Forderung festgestellt wird. 20 von 29 Probanden in VR1 bzw. 9 von 14 Probanden in VR2 verhalten sich gleichmäßig bezogen auf die Aktivität „Fixation des Zielfahrtstreifens vor dem Markierungsübertritt“.

HG5: Absoluter Lenkradwinkel nach links über 10°

Tabelle 46: Auswertungstabelle zu Hypothese HG5

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	6	12	18	62,1%	$\geq 75\%$	0,086
VR2	40	5	25	30	75%		0,560

Aus Tabelle 46 geht hervor, dass für beide Versuchsreihen kein signifikanter Unterschied zwischen dem geforderten und dem beobachteten Anteil an gleichmäßigem Verhalten hinsichtlich des absoluten Lenkradwinkels besteht. Daher kann Hypothese HG5 für beide Versuchsreihen angenommen werden. In den Daten fällt zusätzlich auf, dass gerade bei VR2 ein hoher Anteil des gleichmäßigen Verhaltens dadurch entsteht, dass 25 Probanden in keiner der betrachteten Runden einen maximalen absoluten Lenkradwinkel von über 10° erreichen.

HG6: Kleine Lenkradbewegung unter 10° nach links, gefolgt von einer größeren Lenkradbewegung über 10° nach links („Schulter“)

Tabelle 47: Auswertungstabelle zu Hypothese HG6

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	1	23	24	82,8%	$\geq 75\%$	0,232
VR2	40	2	34	36	90%		0,016

Bzgl. Hypothese HG6 kann aus Tabelle 47 entnommen werden, dass in VR1 kein signifikanter Unterschied zwischen der Forderung und der Beobachtung festgestellt werden kann. In den Daten zu VR2 wird zudem signifikant häufiger als in der Hypothese gefordert ein gleichmäßiges Verhalten der Probanden gefunden. Daraus folgt, dass HG6 für beide Versuchsreihen angenommen wird. Es muss jedoch der Hinweis gegeben werden, dass in beiden Versuchsreihen primär der Anteil der Probanden, die das Lenkmuster in keiner Runde zeigen, für die Annahme der Hypothese verantwortlich ist.

HG7: Einzelne Veränderung der Gaspedalstellung größer 10% Pedalweg

Tabelle 48: Auswertungstabelle zu Hypothese HG7

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	11	3	14	48,3%	$\geq 75\%$	0,002
VR2	40	21	6	27	67,5%		0,179

Tabelle 48 zeigt, dass sich in VR1 nur 14 der 29 Probanden hinsichtlich einer einzelnen Veränderung der Gaspedalstellung um mehr als 10% des Pedalwegs gleichmäßig verhalten. Der Statistiktest belegt, dass somit signifikant weniger als 75% gleichmäßiges Verhalten zeigen, weshalb HG7 für VR1 verworfen wird. Bezogen auf VR2 kann die Hypothese hingegen angenommen werden, da sich 27 von 40 Probanden gleichmäßig verhalten, was dazu führt, dass kein signifikanter Unterschied zur Hypothesenforderung festgestellt wird.

HG8: Aktivität am Bremspedal

Tabelle 49: Auswertungstabelle zu Hypothese HG8

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	0	28	28	96,6%	$\geq 75\%$	0,003
VR2	40	0	39	39	97,5%		< 0,001

Hypothese HG8 wird für beide Versuchsreihen angenommen, da jeweils signifikant mehr Probanden sich gleichmäßig verhalten, als es in der Hypothese gefordert ist (siehe Tabelle 49). Hierbei sei noch der Hinweis gegeben, dass gemäß Tabelle 31 jedoch auch insgesamt nur jeweils zwei Aktivitäten (VR1) bzw. eine (VR2) Aktivität am Bremspedal gefunden wurden. In VR1 wurden beide Aktivitäten in ein und derselben Runde eines Probanden ermittelt.

HG9: Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers nach links

Tabelle 50: Auswertungstabelle zu Hypothese HG9

VR	Fälle gesamt	Fälle positiv			Anteil der positiven Fälle	Forderung aus Hypothese	Wahrscheinlichkeit (Test auf Binomialverteilung)
		alle Runden	keine Runde	gesamt			
VR1	29	9	19	28	96,6%	$\geq 75\%$	0,003
VR2	40	30	5	35	87,5%		0,043

Tabelle 50 ist zu entnehmen, dass Hypothese HG9 für beide Versuchsreihen angenommen wird, da der beobachtete Anteil beide Male signifikant höher ist als der geforderte Anteil. Der Anteil bzgl. der Gleichmäßigkeit der Fahrtrichtungsanzeigerbetätigung ist in beiden Versuchsreihen sehr hoch. Während sich in VR1 nur ein Proband nicht gleichmäßig verhält, zeigen in VR2 35 der 40 Probanden ein gleichmäßiges Verhalten.

Eine jeweilige Übersicht der Ergebnisse der unterschiedlichen Gruppen von Hypothesen kann Kapitel 5.1.1 entnommen werden.

5. Diskussion

In diesem Kapitel werden nacheinander die beispielhafte Anwendung der Aktivitätsanalyse (Kapitel 5.1) und die entwickelte Beschreibungsmethode an sich (Kapitel 5.2) diskutiert.

5.1. Diskussion der beispielhaften Anwendung

Gemäß Forschungsfrage 2 hat die beispielhafte Anwendung auf der einen Seite das Ziel die entwickelte Beschreibungsmethode zu überprüfen und mögliche Stärken und Verbesserungspotentiale aufzudecken (siehe dazu Kapitel 5.2). Zuvor werden jedoch in Kapitel 5.1.1 die Ergebnisse zu den einzelnen Hypothesen diskutiert. Danach wird eine Diskussion zum Vergleich zwischen beobachtetem und erwartetem Gesamtverhalten geführt und es werden ergänzende Auswertungsmöglichkeiten erläutert und die entsprechenden Ergebnisse aufgezeigt (Kapitel 5.1.2). Diese können gemeinsam mit den Ergebnissen der Hypothesen dazu genutzt werden, um Forschungsfrage 3 zu beantworten, in der es um typische Aktivitäten und den Bezug dieser zu Phasen im Fahrerverhalten bzw. im Manöver geht. Kapitel 5.1.3 behandelt die Diskussion zum Vorgehen bei der beispielhaften Anwendung, bevor die absolvierten Fahrversuche in Kapitel 5.1.4 in den Fokus rücken.

5.1.1. Diskussion der Ergebnisse der aufgestellten Hypothesen

Ein Gesamtblick auf die Ergebnisse der Hypothesen zeigt, dass über die Hälfte angenommen werden können. Bezogen auf die beiden Versuchsreihen bleibt festzuhalten, dass in etwa 40% der Fälle ein Unterschied zwischen der Aussage zu VR1 und VR2 besteht. Auch wenn einige der unterschiedlichen Ergebnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Unterschiede in den beiden Versuchsjahren zurück geführt werden können, unterstreicht dies die Komplexität eindeutige Muster im Verhalten zu finden und zeigt, dass Verhalten grundsätzlich als veränderlich bezeichnet werden muss (vgl. auch Kapitel 1.1). Die Details zu den Ergebnissen der Hypothesen werden nachfolgend der Reihe nach diskutiert, nachdem jeweils eine zusammenfassende Tabelle (Tabelle 51, Tabelle 52, Tabelle 53 und Tabelle 54) angegeben wurde.

Ergebnisse der Hypothesen zu den betrachteten Katalogklassen (HK)

Tabelle 51: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HK

Hypo- these	Aktivität	Forderung	Ergebnis VR1	Ergebnis VR2
HK1	Fixation linker Außenspiegel	$\geq 75\%$	✓	✗
HK2	Fixation Innenspiegel	$\geq 50\%$	✗	✓
HK3	Blick über linke Schulter	$\geq 33\%$	✓	✗
HK4	Fixation Zielfahrstreifen	$\geq 50\%$	✓	✓
HK5	Absoluter Lenkradwinkel über 10°	$\geq 75\%$	✗	✗
HK6	Lenkschulter	$\geq 25\%$	✗	✗
HK7	Gaspedalbetätigung unter 10%	$\leq 10\%$	✗	✗
HK8	Bremspedalbetätigung	$< 0,001\%$	✗	✓
HK9	Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger	$\geq 50\%$	✗	✓

Hypothese HK1, bei der Fixationen im AOI „linker Außenspiegel“ betrachtet wurden, zeigt, dass in VR1 deutlich mehr Fixationen stattgefunden haben. Die Forderung in der Hypothese von mindestens 75% wird nur bzgl. VR1 bestätigt. Dies kann bzgl. zweier Sichtweisen diskutiert werden. Auf der einen Seite gab es in VR1 keinen zusätzlichen Verkehrsteilnehmer, wodurch vermutet wurde, dass die Anzahl der

Fixationen geringer sein könnte, da die Absicherung der Umgebung möglicherweise als weniger wichtig angesehen wurde. Die Häufigkeit von 86,2%, in denen eine Fixation stattfand, widerlegt diese Vermutung. Auf der anderen Seite gab es bzgl. der Datenqualität der zweiten Versuchsreihe gewisse Probleme. Diese traten v.a. bei seitlichen Blicken auf, weshalb die niedrige Anzahl in VR2 kritisch hinterfragt werden muss. Trotz der Bemühungen hinsichtlich des verbesserten Versuchsdesigns nach der gezielten Variation und dem Vorgehen tendenziell schlechtere Daten aus der Betrachtung auszuschließen, kann es möglich sein, dass in den analysierten Daten eigentlich vorhandene Blicke zur Seite und damit bspw. in den Außenspiegel nicht korrekt detektiert wurden. Nimmt man diesen Umstand mit in die Betrachtung hinein, kann geschlossen werden, dass Außenspiegelblicke für das Manöver Fahrstreifenwechsel eine hohe Relevanz haben.

Bei der Betrachtung der Fixationen des Innenspiegels (HK2) fällt hingegen auf, dass in VR2 mehr Fixationen stattgefunden haben. Die Forderung von mindestens 50% wird nur für VR2 erreicht. Auch hier ist es möglich, dass das veränderte Versuchsdesign Einfluss auf das Ergebnis genommen hat. Schulterblicke, die in Hypothese HK3 überprüft wurden, treten in den Daten von VR1 häufiger auf. Die Hypothese, in der mindesten 33% gefordert wurden, wird nur für VR1 bestätigt. Erneut können die Probleme der Blickdatenerfassung (vgl. vorherige Diskussion zu Hypothese HK1) als mögliche Erklärung angebracht werden.

Zur Fixation des Zielfahrstreifens (HK4) kann resümiert werden, dass die Fixation in beiden Versuchsreihen in etwas mehr als jedem zweiten Fall vor dem Fahrstreifenwechselbeginn durchgeführt wurde. Die Daten in beiden Versuchsreihen sind sehr ähnlich. Die Fixation des Zielfahrstreifens kann als möglicherweise interessantes Indiz für einen Fahrstreifenwechsel betrachtet werden. Zur Bestätigung sollten andere Fahrmanöver und dabei v.a. das Folgen des aktuell gewählten Fahrstreifens vergleichend betrachtet werden (siehe auch Kapitel 6).

Bzgl. der Forderung aus Hypothese HK5, dass der absolute Lenkradwinkel während des Manövers 10° übersteigt, muss festgehalten werden, dass dies in den Versuchsreihen nur in knapp 38% (VR1) bzw. 25% (VR2) der Fall war. Die Forderung von mind. 75% wäre erst bei einem Grenzwert des Lenkradwinkels von 6° erreicht worden. Die Erkenntnisse der Literatur, die in der Herleitung der Hypothese verwendet wurden, konnten demnach nicht bestätigt werden, auch wenn der Mittelwert der maximalen Lenkradwinkel in VR1 mit $9,08^\circ$ (Standardabweichung $3,11^\circ$) und in VR2 mit $8,25^\circ$ (Standardabweichung $3,23^\circ$) relativ nah an der Forderung von 10° ist. Das Ergebnis hängt jedoch sehr wahrscheinlich mit dem Versuchsdesign des „freien Fahrstreifenwechsels“ (vgl. Kapitel 4.2.1) zusammen. In den Versuchen hatten die Probanden eine recht große Zone zur Verfügung, in denen der Fahrstreifenwechsel vollzogen werden konnte, wodurch nicht unbedingt deutliche Lenkradbewegungen nötig waren. Interessant erscheint hier der Vergleich mit den „gezwungenen Fahrstreifenwechseln“, die ebenfalls im Versuch vorhandenen waren, aber im Rahmen der beispielhaften Anwendung dieser Arbeit nicht ausgewertet wurden.

Die „Lenkschulter“, die beispielsweise von Schmidt et al. (2014) beschrieben wird (vgl. Kapitel 4.1), konnte in den Versuchen nur sehr selten gefunden werden - die Hypothese HK6 wurde für beide Versuchsreihen verworfen. Hier fiel bei der Auswertung auf, dass die Diskretisierung des Lenkradwinkels innerhalb der Aktivitätsbetrachtung es schwierig macht, eine detaillierte Aussage zu den geforderten Feinheiten im Lenkradwinkelverlauf zu tätigen. Dieser Aspekt kann neben der Tatsache, dass die in HK6 geforderte Lenkradwinkelgrenze ebenfalls 10° betrug, als mögliche Erklärung dieses Sachverhalts angebracht werden.

Die Hypothese HK7, in der Gaspedalveränderungen größer 10% des Pedalwegs untersucht wurden, wurde für beide Versuchsreihen verworfen. Die geforderte Aktivität trat in jeweils gut zwei Dritteln der betrachteten Runden auf. Hier kann jedoch vermutet werden, dass diese Aktivitäten primär der Geschwindigkeitshaltung dienten und kein direkter Bezug zum Fahrmanöver besteht.

Am Bremspedal konnten im Betrachtungszeitraum von VR1 zwei und von VR2 eine Aktivität gefunden werden. Als Folge musste Hypothese HK8 zumindest für VR1 verworfen werden. Dennoch kann festgehalten werden, dass Bremspedalaktivitäten eine sehr untergeordnete Rolle beim dargestellten Fahrstreifenwechsel spielen.

Bzgl. der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers (HK9) konnte eine hohe Diskrepanz zwischen den beiden Versuchsreihen identifiziert werden. Während das Signal in VR1 nur knapp jede dritte Runde

gegeben wurde, konnte es in VR2 in gut 80% der Runden gefunden werden. Als Folge wurde HK9 für VR1 verworfen und für VR2 angenommen. Die geringe Betätigungsrate in VR1 kann sehr wahrscheinlich auf das Versuchsdesign vor der gezielten Anpassung zurückgeführt werden. Da kein weiteres Fahrzeug vorhanden war, wurde scheinbar die Notwendigkeit der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers als eher gering angesehen.

Ergebnisse der Hypothesen zur Reihenfolge einzelner charakteristischer Aktivitäten (HR)

Tabelle 52: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HR

Hypo- these	Aktivität	Forderung	Ergebnis VR1	Ergebnis VR2
HR1	Fixation linker Außenspiegel oder Innenspiegel vor Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger	$\geq 75\%$	✓	✓
HR2	Fixation linker Außenspiegel oder Innenspiegel vor Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger vor erneuter Fixation linker Außenspiegel oder Innenspiegel	$\geq 75\%$	✗	✓
HR3	Fixation linker Außenspiegel oder Innenspiegel vor Blick über linke Schulter	$\geq 75\%$	✓	✓
HR4	Fixation linker Außenspiegel oder Innenspiegel vor Lenkbeginn	$\geq 75\%$	✓	✓
HR5	Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger vor Lenkbeginn	$\geq 75\%$	✗	✗

In der ersten Hypothese bzgl. der Reihenfolge von charakteristischen Aktivitäten wurde festgestellt, dass in beiden Versuchsreihen in einem sehr hohen Anteil vor der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers eine Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels stattfand. Die Hypothese HR1 konnte daher für beide Versuchsreihen angenommen werden. Diese Abfolge kann als ein erstes Muster im Verhalten festgehalten werden.

Bzgl. VR2 konnte bestätigt werden, dass in mind. 75% der Fälle nach einer ersten Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels und der Bestätigung des Fahrtrichtungsanzeigers eine erneute Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels stattfand (HR2). Hierbei muss beachtet werden, dass nur Fälle betrachtet wurden, in denen im Betrachtungszeitraum mindestens eine zweite Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels vorhanden war. Bei VR1 wurde dieses Muster nur in knapp 50% der Fälle gefunden, weshalb die Hypothese HR2 für VR1 abgelehnt wurde. Erneut kann das veränderte Versuchsdesign als mögliche Erklärung genannt werden. Durch das Fehlen eines zweiten Verkehrsteilnehmers wurde die erneute Absicherung von den Probanden in VR1 scheinbar als weniger wichtig eingestuft.

Dass einem Blick über die linke Schulter sehr häufig eine Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels vorausgeht, konnte in Hypothese HR3 für beide Versuchsreihen bestätigt werden. Demnach kann dies als ein zweites Muster im Verhalten identifiziert werden. Hierbei muss jedoch der Hinweis gegeben werden, dass nur 7 Fälle bzgl. VR2 betrachtet werden konnten, in denen mindestens ein Schulterblick im Betrachtungszeitraum auftrat. Es wäre wünschenswert dieses Muster durch eine größere Fallanzahl zu bestätigen. Zudem wurde festgestellt, dass die beiden Aktivitäten teilweise zeitlich recht weit auseinander lagen. Diesbezüglich sollte eine genauere Analyse vorgesehen werden. Ebenfalls hinsichtlich eines Musters beim Fahrstreifenwechsel kann HR4 interpretiert werden. Die Hypothese, in der eine Spiegelfixation (Innen- oder linker Außenspiegel) vor dem eigentlichen Lenkbeginn gefordert wurde, konnte für beide Versuchsreihen angenommen werden. Hierbei stellte sich jedoch heraus, dass die Identifizierung des Lenkbeginns rein über die Aktivitätscodes teilweise etwas uneindeutig sein kann. In der Auswertung wurde neben den Codes aus der Suchlogik (vgl. Tabelle 18) auch die Zeitspanne zwischen den einzelnen Lenkaktivitäten betrachtet, um den Beginn identifizieren zu können. Der Detailgrad der Beschreibungsmethode sollte hinsichtlich solcher Auswertungen nochmals diskutiert werden.

Ob vor dem Lenkbeginn in mindestens 75% der Fälle die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers stattfand, wurde in Hypothese HR5 getestet. Für beide Versuchsreihen wurde die Hypothese

verworfen. Bzgl. VR1 konnte sogar festgestellt werden, dass die Reihenfolge der beiden Aktivitäten häufig entgegengesetzt war. Auch dies kann jedoch möglicherweise durch die Herausforderungen bei der eindeutigen Identifikation des Lenkbeginns beeinflusst worden sein.

Ergebnisse der Hypothesen zur Frühzeitigkeit einzelner charakteristischer Aktivitäten (HF)

Tabelle 53: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HF

Hypo- these	Aktivität (Zeitspanne)	Forderung	Ergebnis VR1	Ergebnis VR2
HF1	Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger (-3,75s bis -1,25s)	$\geq 75\%$	✓	✓
HF2	Fixation linker Außenspiegel (-5s bis -2s)	$\geq 75\%$	✗	✗
HF3	Blick über linke Schulter (-3s bis -1,5s)	$\geq 75\%$	✓	✗
HF4	Lenkbeginn (-3s bis -1,5s)	$\geq 75\%$	✓	✗

Bei den Hypothesen zur Frühzeitigkeit konnte bzgl. des Zeitpunkts der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers eine hohe Passung zur Hypothese (HF1) gefunden werden. Für beide Versuchsreihen fand die Betätigung in über 80% der Fälle in der Zeitspanne zwischen 3,75s und 1,25s vor dem Beginn des Fahrstreifenwechsels statt.

Blicke in den linken Außenspiegel wurden nicht so oft wie gefordert im Bereich zwischen -5s und -2s bezogen auf den Beginn des Fahrstreifenwechsels gefunden. Hypothese HF2 musste aufgrund dieser Datenlage für beide Versuchsreihen verworfen werden. Zu den Ergebnissen muss noch der Hinweis gegeben werden, dass in VR1 teilweise pro Runde mehrfach der linke Außenspiegel fixiert wurde und dann meist nur eine der Fixationen im geforderten Bereich lag und dass bzgl. VR2 die bereits genannten Probleme bei seitlichen Blicken eine Rolle spielen können.

Der Zeitpunkt der Blicke über die linke Schulter zeigte sich nur für VR1 als passend aus der Literatur abgeleitet. Für VR2 wurde Hypothese HF3 hingegen verworfen. Erneut muss dabei die Qualität der Blickdaten der zweiten Versuchsreihe beachtet werden.

Bzgl. Hypothese HF4, in der der Zeitpunkt des Lenkbeginns untersucht wurde, kann resümiert werden, dass erneut nur in VR1 die Aktivität ausreichend häufig in der postulierten Zeitspanne stattfand. Die bereits erwähnten Schwierigkeiten bei der Identifikation des Lenkbeginns spielen jedoch auch hier eine Rolle.

Ergebnisse der Hypothesen zur Gleichmäßigkeit des Probandenverhaltens (HG)

Tabelle 54: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HG

Hypo- these	Aktivität	Forderung	Ergebnis VR1	Ergebnis VR2
HK1	Gleichmäßigkeit Fixation linker Außenspiegel	$\geq 75\%$	✓	✗
HK2	Gleichmäßigkeit Fixation Innenspiegel	$\geq 75\%$	✗	✓
HK3	Gleichmäßigkeit Blick über linke Schulter	$\geq 75\%$	✓	✓
HK4	Gleichmäßigkeit Fixation Zielfahrstreifen	$\geq 75\%$	✓	✓
HK5	Gleichmäßigkeit absoluter Lenkradwinkel über 10°	$\geq 75\%$	✓	✓
HK6	Gleichmäßigkeit Lenkschulter	$\geq 75\%$	✓	✓
HK7	Gleichmäßigkeit Gaspedalbetätigung unter 10%	$\geq 75\%$	✗	✓
HK8	Gleichmäßigkeit Bremspedalbetätigung	$\geq 75\%$	✓	✓
HK9	Gleichmäßigkeit Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger	$\geq 75\%$	✓	✓

Bezogen auf die Gleichmäßigkeit des Probandenverhaltens muss an erster Stelle genannt werden, dass bzgl. VR1 drei Runden betrachtet werden konnten und dass zu VR2 nur zwei Runden einfließen konnten (vgl. Kapitel 4.2.1). Es wäre wünschenswert die Anzahl der betrachteten Runden zu erhöhen, um die Ergebnisse noch belastbarer zu machen.

Die Gleichmäßigkeit bezogen auf die Fixation des linken Außenspiegels konnte für VR1 bestätigt werden. Bezogen auf VR2, in der die bereits thematisierten Bedingungen der Datenqualität herrschten, wurde Hypothese HG1 verworfen. Genauso wie bei den folgenden drei Hypothesen (HG2-HG4) konnten bei der Betrachtung der zweiten Versuchsreihe jedoch nur 14 Probanden genutzt werden. Eine Erhöhung der Fallanzahl ist wünschenswert.

Der Innenspiegel wurde bezogen auf die Forderung der Hypothese HG2 nur in VR2 ausreichend oft gleichmäßig fixiert. Für VR1 wurde die Hypothese verworfen.

In HG3 wurde die Gleichmäßigkeit der Schulterblicke analysiert. Die Hypothese konnte für beide Versuchsreihen angenommen werden. Die hohen Anteile kamen hierbei jedoch überwiegend dadurch zustande, dass die Probanden jeweils keinen Schulterblick in allen betrachteten Runden machten. Der Zielfahrstreifen wurde in beiden Versuchsreihen ausreichend gleichmäßig fixiert, wodurch HG4 angenommen wurde. Dies bestätigt den zuvor bereits erwähnten interessanten Aspekt des gefundenen möglichen Indizes eines Fahrstreifenwechsels.

Zu Hypothese HG5 kann resümiert werden, dass ein gleichmäßiges Verhalten der Probanden vorlag, da die Hypothese für beide Versuchsreihen angenommen wurde. Ausgehend von der insg. niedrigen Anzahl an Fällen, in denen der Lenkradwinkel 10° übersteigt (vgl. HK5), kommt die identifizierte Gleichmäßigkeit jedoch überwiegend aus Fällen in denen in keiner Runde die Aktivität gezeigt wurde. Ähnlich wie bei HG5 kommt auch bei HG6 das vorliegende gleichmäßige Verhalten (Hypothese für beide Versuchsreihen bestätigt) zu einem sehr großen Anteil aus Fällen in denen in keiner Runde eine „Lenkschulter“ gefunden werden konnte.

Bezogen auf HG7 kann festgehalten werden, dass die Hypothese für VR1 verworfen wurde. Auch wenn elf Probanden in allen Runden ein gleichmäßiges Verhalten zeigten, gab es hinsichtlich der Hypothese zu häufig ein ungleichmäßiges Verhalten. Für VR2 wurde die Hypothese hingegen angenommen. Die Annahme von HG8 zu beiden Versuchsreihen hängt mit der extrem niedrigen Anzahl positiver Fälle aus HK8 zusammen. Das gleichmäßige Verhalten kommt in allen Fällen dadurch zustande, dass die Aktivität in keiner Runde auftrat.

Der Fahrtrichtungsanzeiger wird in beiden Versuchsreihen sehr gleichmäßig verwendet bzw. nicht verwendet. Während in VR1 dabei die Fälle dominieren, in denen in keiner der betrachteten Runde das Signal gegeben wurde, kann bzgl. VR2 ein hoher Anteil gefunden werden, in dem in allen Runden eine Betätigung stattgefunden hat. Diese Tatsache kann hinsichtlich einer Verhaltensprädiktion wertvoll sein.

Zusammengefasst kann ausgehend von den Ergebnissen der Hypothesen und damit auch hinsichtlich Forschungsfrage 3 festgehalten werden, dass das Verhalten der Probanden teilweise als unterschiedlich, in anderen Aspekten aber auch als gleichmäßig bezeichnet werden kann. Muster im Verhalten konnten hinsichtlich der Reihenfolge und der Frühzeitigkeit gewisser charakteristischer Aktivitäten identifiziert werden. Im folgenden Kapitel 5.1.2 wird eine übergeordnete Diskussion geführt, in der das abstrahierte Gesamtverhalten auf Basis der Kombination der Hypothesenerkenntnisse thematisiert wird. Die wichtigsten Erkenntnisse werden zudem im Fazit dieser Arbeit (Kapitel 6) nochmals aufgegriffen.

5.1.2. Diskussion hinsichtlich Erkenntnissen des Fahrerverhaltens zum Beispielmanöver Fahrstreifenwechsel

Gemäß Kapitel 4 bzw. Kapitel 4.1 wurde das erwartete Gesamtverhalten über einzelne Hypothesen abgebildet. Diese wurden in Kapitel 5.1.1 einzeln diskutiert. Nun folgend werden die Hypothesen kombiniert diskutiert und dabei wird der Abgleich zwischen zu erwartendem und beobachtetem Verhalten fokussiert. Das Vorgehen ist zudem nützlich, um Forschungsfrage 3 zu beantworten, in der es um typische Aktivitäten im Verhalten und deren Zuordnung zu Manöverphasen geht. Dabei werden

die Ergebnisse der aufgestellten Hypothesen, aber auch weitere Details zu den identifizierten Aktivitäten verwendet, um das beobachtete Verhalten der Probanden zusammengefasst darzustellen. Aus allen Aktivitäten, die im Betrachtungszeitraum ermittelt wurden, kann eine Übersicht der Ausprägungen der Eigenschaften des Katalogs zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers erstellt werden. Diese Übersicht zeigt auf, welche Wertebereiche beispielsweise bei der Lenkradwinkelveränderung oder welche Fixationsräume eine Rolle im Manöver spielen. Gemäß den Einschränkungen zur beispielhaften Anwendung der Beschreibungsmethode (siehe Kapitel 4.2.2) können dabei nicht alle Eigenschaften und Ausprägungen analysiert werden. Dennoch kann mit Hilfe der Übersicht das Fahrerverhalten innerhalb des Beispielmanövers beleuchtet werden. Bei der Erstellung der Übersicht wurden alle Ausprägungen der ermittelten Aktivitäten über alle Probanden aufsummiert und die jeweiligen prozentualen Anteile bezogen auf die einzelnen Eigenschaften berechnet. Die beiden Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen das Ergebnis zum beobachteten Verhalten in VR1 zu Katalogklasse der Querverführung. Eine Übersicht zur Bedeutung der dort dargestellten Ausprägungen zeigt Tabelle 55. Die Übersichten zu den weiteren Katalogklassen von VR1 und zu allen Katalogklassen von VR2 sind in Anhang H zu finden.

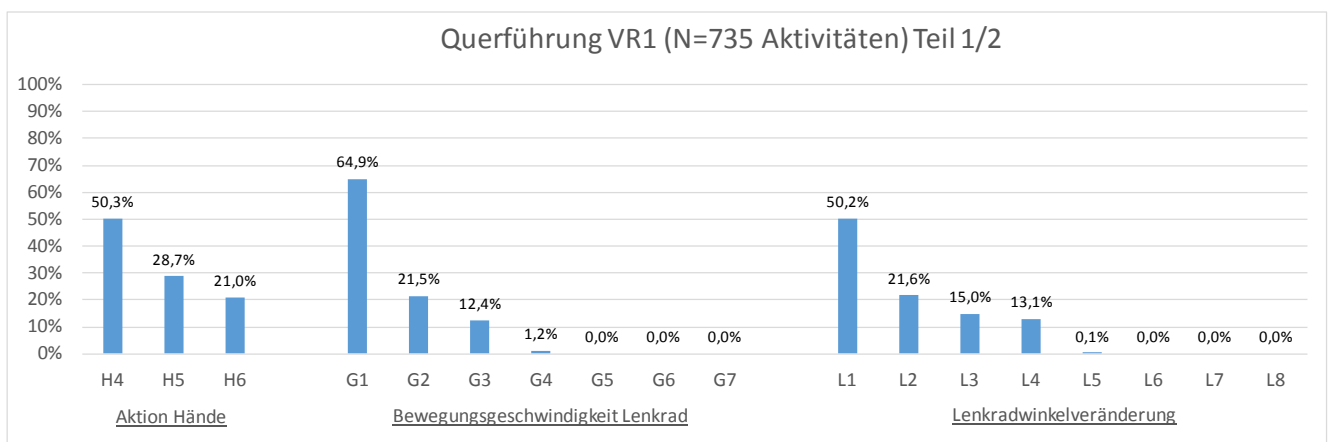


Abbildung 41: Darstellung der Häufigkeiten bzgl. der Ausprägungen der Eigenschaften (Teil 1/2) der Katalogklasse Querverführung in VR1 (die Ausprägungsbezeichnungen können Tabelle 55 entnommen werden)

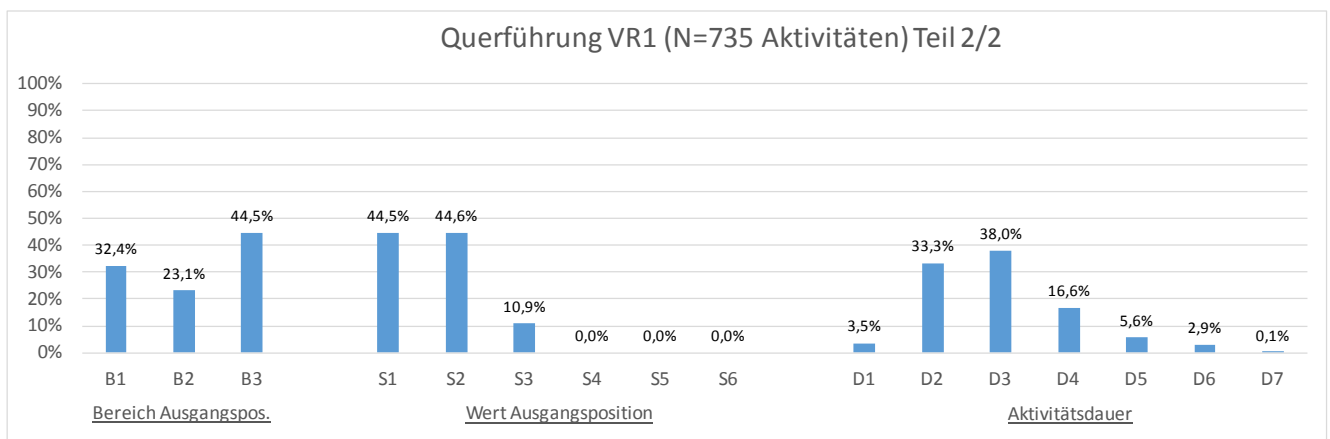


Abbildung 42: Darstellung der Häufigkeiten bzgl. der Ausprägungen der Eigenschaften (Teil 2/2) der Katalogklasse Querverführung in VR1 (die Ausprägungsbezeichnungen können Tabelle 55 entnommen werden)

Tabelle 55: Übersicht der Bedeutungen der Ausprägungen

Ausprägung	Bedeutung	Ausprägung	Bedeutung
Aktion Hände am Lenkrad (Lr)		Bereich der Ausgangsposition	
H4	Lr annähernd konstant halten	B1	Positiv
H5	Lr nach links drehen (positiv)	B2	Negativ
H6	Lr nach rechts drehen (negativ)	B3	Neutral
Bewegungsgeschwindigkeit des Lenkrads		Wert der Ausgangsposition	
G1	[0;5]°/s	S1	[0;2]°
G2	]5;10]°/s	S2	]2;10]°
G3	]10;20]°/s	S3	]10;40]°
G4	]20;80]°/s	S4	]40;100]°
G5	]80;120]°/s	S5	]100;2000]°
G6	]120;200]°/s	S6	]200;max]°
G7	]200;max]°/s	Aktivitätsdauer	
Lenkradwinkelveränderung		D1	[0;0,25]s
L1	[0;2]°	D2	]0,25;0,75]s
L2	]2;5]°	D3	]0,75;1,5]s
L3	]5;10]°	D4	]1,5;2,5]s
L4	]10;30]°	D5	]2,5;4]s
L5	]30;50]°	D6	]4;6]s
L6	]50;100]°	D7	]6;max]s
L7	]100;200]°		
L8	]200;max]°		

Aus den Verteilungen der Ausprägungshäufigkeiten (siehe Anhang H) können folgende Schlüsse gezogen werden (werden zwei Prozentzahlen genannt, so gehört die erstgenannte jeweils zu VR1, während sich die zweite Prozentzahl auf VR2 bezieht):

Katalogklasse Querführung (Q)

Die Verteilungen für die beiden Versuchsreihen ähneln sich sehr stark. Die Abweichungen zwischen VR1 und VR2 der prozentualen Häufigkeiten der einzelnen Ausprägungen betragen maximal ca. 8%. Bei Eigenschaft H (Aktion der Hände) dominiert die Ausprägung H4 (konstant halten) mit ca. 50% bzw. 44% vor dem Lenken nach links (H5 - 28,7% bzw. 32%) und dem Lenken nach rechts (H6 - 21,0% bzw. 24,3%). Bzgl. der Eigenschaft der Bewegungsgeschwindigkeit des Lenkrads (G) entfallen jeweils über 60% auf die erste Ausprägung, während die Ausprägung G4 (20°/s bis 80°/s) nur bei VR1 sehr selten auftritt und G5-G7 (größer 80°/s) in beiden Versuchsreihen nicht vorkommen. D.h., dass im Beispielmanöver nur geringe Bewegungsgeschwindigkeiten beobachtet werden konnten. Auch bei der Eigenschaft L (Lenkradwinkelveränderung) treten die Ausprägungen L6-L8 (größer 50°) nicht auf, während L5 (30° bis 50°) nur äußerst selten vorkommt. Die häufigste Ausprägung ist L1 (0° bis 2°) mit 50,2% bzw. 43,7% während die weiteren Ausprägungen absteigend nur zwischen rund 25% und 13% erreichen. Demnach werden neben eher geringen Bewegungsgeschwindigkeiten auch nur eher kleinere Lenkradwinkelveränderungen festgestellt. Bzgl. der Eigenschaft B (Bereich der Ausgangsposition) wird erwartungsgemäß ein sehr ähnliches Ergebnis zu Eigenschaft H (Aktion der Hände) gefunden. Die Ausprägungen S1 (0° bis 2°) und S2 (2° bis 10°) der Eigenschaft der Werte der Ausgangsposition dominieren mit jeweils mind. etwa 89% die Häufigkeiten, während S4-S6 (größer 40°) nicht auftreten. Zur Aktivitätsdauer (Eigenschaft D) kann eine Häufung bei den Ausprägungen D2-D4, also dem Zeitbereich zwischen 0,25s und 2,5s gefunden werden. Grundsätzlich sind aber alle Ausprägungen vorhanden und in VR2 gibt es eine leichte Tendenz zu etwas längeren Aktivitäten.

Katalogklasse Längsführung (L)

Analog zu Klasse Q kann auch bei Klasse L eine hohe Übereinstimmung der beiden Versuchsreihen festgestellt werden. Die Abweichungen zwischen den Versuchsreihen betragen maximal 8,6%. Das Bremspedal wird im Beispielmanöver quasi nie betätigt und kann somit als nicht relevant angesehen werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus Hypothese HK8. Bezogen auf die Eigenschaft A (Bewegung rechter Fuß), bei der nur die Ausprägungen A2-A4 ausgewertet werden konnten, zeigt sich, dass das konstant halten des Pedals (A2) mit 51,4% bzw. 42,8% am häufigsten auftritt. A3 (Pedal positiv betätigen) verzeichnet eine prozentuale Häufigkeit von knapp 28% bzw. ca. 32%. Die Ausprägung A4 (Pedal negativ betätigen) ist in nur etwa 21% bzw. knapp 25% der Fälle vorhanden. Die Pedalbewegungsgeschwindigkeiten (Eigenschaft G) liegen fast alle im Bereich zwischen 0%/s und 40%/s (Ausprägung G1). Nur etwa 2% entfallen auf G2 (40%/s bis 90%/s) und nur 0,5% auf G3 (90%/s bis 120%/s). Dieser Aspekt wird im Kapitel 5.2 gezielt aufgegriffen. In den analysierten Daten kann zudem festgestellt werden, dass eine geringe Ausgangsposition (Eigenschaft S) zwischen 0% und 25% (Ausprägung S2) dominiert. 84,0% bzw. 88,6% entfallen auf diese Ausprägung. Die Ausprägungen S4 (Ausgangsposition 50% bis 75%) und S5 (Ausgangsposition 75% bis 100%) kommen hingegen nicht vor. Die Pedalbetätigungswege (Eigenschaft W) werden ebenfalls von kleineren Werten bestimmt. Während die Ausprägung W4 (20% bis 50%) nur sehr selten auftritt und W5-W6 (größer 50%) nicht vorkommen, entfallen gut 80% auf die Ausprägungen W1-W2 (0% bis 10%). Bei der Aktivitätsdauer (Eigenschaft D) wird analog zu Klasse Q eine Häufung bei den Ausprägungen D2-D4 (0,25s bis 2,5s) festgestellt.

Katalogklasse Visuelle Informationsaufnahme (I)

Zur Katalogklasse der visuellen Informationsaufnahme (I) können teilweise gewisse Abweichungen zwischen den beiden Versuchsreihen festgestellt werden. Bezogen auf die Fixationsräume (Eigenschaft R) dominiert in beiden Versuchsreihen die Frontscheibe (Ausprägungen RF1-RF6). Mit 62,7% bzw. 77,3% wird jedoch eine relativ hohe Abweichung zwischen VR1 und VR2 festgestellt. In VR1 wird stattdessen der linke Außenspiegel (RS1) und die Instrumententafel (RA1) etwas häufiger fixiert. Es kann nicht komplett ausgeschlossen werden, dass die Unterschiede auch durch die unterschiedlichen Systeme und die jeweilige Möglichkeit der genauen Zuordnung der Fixationsräume bedingt ist. Auch bei den Fixationsobjekten (Eigenschaft O) können Unterschiede gefunden werden. Während bzgl. der Fahrbahn bei VR1 der nahe Bereich (OB1) und der Zielfahrstreifen (OB7) dominieren, wurde bei VR2 eher der ferne Bereich der Fahrbahn (OB2) codiert. Hier kann jedoch auch ein möglicher Einfluss des Auswerters nicht ausgeschlossen werden (vgl. Kapitel 5.1.3). Passend zur vorherigen Erkenntnis wird bei VR1 das Fixationsobjekt OC (Tacho) häufiger fixiert und bzgl. VR2 konnte in rund 29% der Aktivitäten keine eindeutige Zuordnung zu einem Fixationsobjekt getätigt werden (Ausprägung Ox). Die Aktivitätsdauer (Eigenschaft D) ist hingegen für beide Versuchsreihen wieder sehr ähnlich, auch wenn eine leichte Tendenz zu längeren Aktivitäten bei VR1 vorhanden ist. Es dominieren Aktivitätsdauern von 0,2s bis 0,7s (Ausprägung D2) mit ca. 44% bzw. 50% vor Dauern zwischen 0,7s und 1,2s (D3). Auch die anderen Ausprägungen sind vorhanden, weisen jedoch nur 2,8% bis maximal 12,0% auf.

Katalogklasse Signalgebung (S)

Bzgl. Katalogklasse S wurde lediglich das Signal des Fahrtrichtungsanzeigers ausgewertet. Es wurde festgestellt, dass kein Signal zur rechten Seite gegeben wurde, sondern dass alle Betätigungen das Signal nach links betreffen. Bezogen auf die Aktivitätsdauer (Eigenschaft D) wurde ein Unterschied zwischen VR1 und VR2 festgestellt. Scheinbar begründet im Vorhandensein des Folgefahrzeugs werden längere Signale gegeben. Während in VR1 die Ausprägung D3 (Zeitraum zwischen 2,7s und 4s) nicht auftritt, entfallen in VR2 knapp 25% auf diese Ausprägung. Dieser Aspekt wird in den noch folgenden Kapiteln erneut behandelt. Häufigste Ausprägung bleibt jedoch mit Abstand D2 (zwischen 0,5s und 2,7s).

In Abbildung 32 wurde dargestellt, in welchem Zeitraum sich die charakteristischen Aktivitäten Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers, Fixation Außenspiegel, Blick über linke Schulter und Lenkbeginn gemäß der Literaturerkenntnisse befinden sollten. Im Rahmen der hier vorliegenden Auswertung wurde ergänzend die zeitliche Verteilung der Fixation am Innenspiegel und der Fixation des Zielfahrstreifens beleuchtet. Abbildung 43 zeigt die zeitliche Verteilung bezogen auf den Betrachtungszeitraum, in der die jeweilige Aktivität von den Probanden getätigt wurde. Dabei werden alle Fälle berücksichtigt, also auch die Fällen, in denen ein Proband eine Aktivität mehrfach gezeigt hat. Die Übersicht ermöglicht es einen Überblick zum Vorhandensein der charakteristischen Aktivitäten zu erhalten.

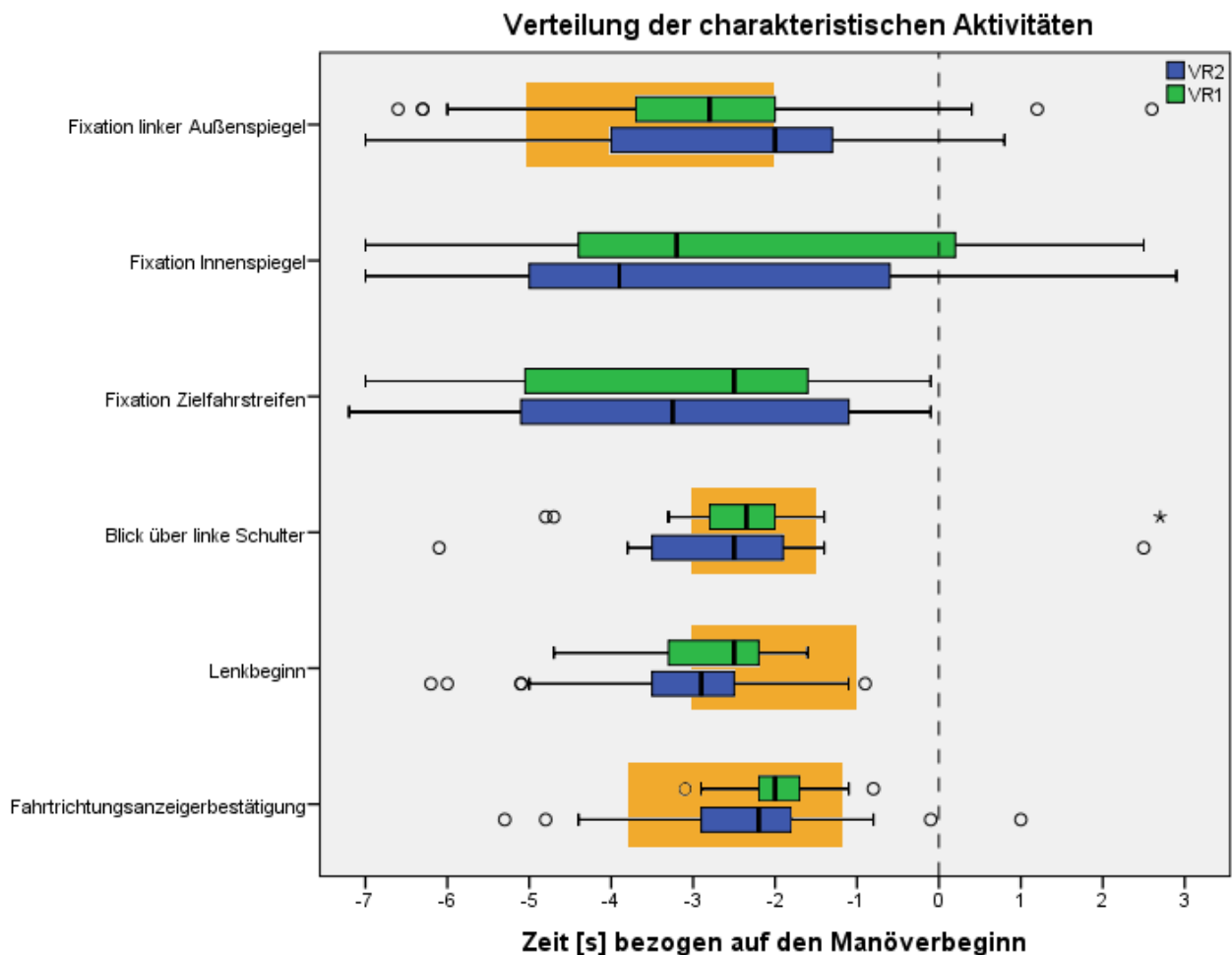


Abbildung 43: Boxplot-Darstellung der zeitlichen Verteilung der charakteristischen Aktivitäten zu beiden Versuchsreihen, wobei der aus der Literatur zu erwartende Zeitbereich in orange gezeigt wird (vgl. Abbildung 32)

Dem Diagramm kann entnommen werden, dass die Fixationen der AOI linker Außenspiegel, Innenspiegel und Zielfahrstreifen in einem großen Bereich des Betrachtungszeitraums auftreten, während die anderen drei charakteristischen Aktivitäten Blick über linke Schulter, Lenkbeginn und Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers in einem kleineren Bereich auftreten, auch wenn es Ausreißer in den Daten gibt. Dies schlägt sich im sog. Interquartilsabstand (der Abstand zwischen unterem und oberem Quartil) nieder. Dieser ist bei VR1 bzgl. der charakteristischen Aktivitäten Blick über linke Schulter, Fixation linker Außenspiegel und Fahrtrichtungsanzeigerbetätigung kleiner als bei VR2 - d.h. dass es bei diesen Aktivitäten etwas weniger Streuung in der zeitlichen Verteilung bei VR1 gibt. Betrachtet man den Median der charakteristischen Aktivitäten kann festgestellt werden, dass im Mittel bei VR1 der linke Außenspiegel ca. 1s früher fixiert wird. Dem gegenüber wird bei VR2 der Innenspiegel im Mittel eine knappe Sekunde früher fixiert. Diese Unterschiede können mit dem zusätzlichen Verkehrsteilnehmer hinter bzw. schräg hinter dem Fahrzeug zusammen hängen. In VR2 wird zudem der Zielfahrstreifen im Mittel etwa 1s früher fixiert. In VR2 wird etwa eine halbe Sekunde

früher mit dem Lenken begonnen, während die Medianwerte des Blickes über die linke Schulter und der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers noch näher zusammen liegen und damit der Unterschied eher vernachlässigt werden kann. Betrachtet man den Abgleich zwischen dem erwarteten Zeitbereich (orange Färbung in Abbildung 43, vgl. auch Abbildung 32), so fällt auf, dass die Fixationen des linken Außenspiegels tendenziell eher im späteren Bereich des Zeitbereichs stattfinden, während mit dem Lenken eher etwas früher begonnen wird. Die Passung der Zeitbereiche der Blicke über die linke Schulter bzw. der Fahrtrichtungsanzeigerbetätigungen sind hingegen recht gut, wobei der Fahrtrichtungsanzeiger primär in einem etwas enger gefassten Zeitbereich betätigt wird. Es ist wünschenswert die identifizierten Unterschiede zwischen den Versuchsreihen bzw. zwischen der Erwartung aus den Hypothesen und den beobachteten Daten auch statistisch abzusichern. Zudem könnten durch die Analyse des jeweils ersten Auftretens der charakteristischen Aktivitäten weitere Erkenntnisse erlangt werden.

Aus den Aussagen zur Reihenfolge der charakteristischen Aktivitäten (vgl. Hypothesen HR1-HR5) kann zusammen mit den Erkenntnissen aus Abbildung 43 ein prototypischer Ablauf der charakteristischen Aktivitäten abgeleitet werden. Dieser besitzt eine gewisse Unschärfe, da nicht alle Aktivitäten immer in einer Reihenfolge passieren. Dennoch kann über den Ablauf ein prototypisches Muster des Fahrerverhaltens hinsichtlich der charakteristischen Aktivitäten erzeugt werden. Auf eine weitere Methode diesen Ablauf darzustellen, wird in Kapitel 6 kurz eingegangen. Die Wahrscheinlichkeiten, in denen eine charakteristische Aktivität vor der anderen stattfindet, sind in Anhang I nochmals zusammengefasst. Aus diesen Wahrscheinlichkeiten sind die folgenden Schlüsse zu ziehen:

- Die Fixation des Innen- oder Außenspiegel ist in ca. 90% der Fälle vor der Bestätigung des Fahrtrichtungsanzeigers
- Die Fixation des Innen- oder Außenspiegel ist in ca. 85% der Fälle vor einem Blick über die linke Schulter
- Die Fixation des Innen- oder Außenspiegel ist in ca. 70% der Fälle vor dem Lenkbeginn
- Der Lenkbeginn ist in ca. 73% der Fälle vor der Bestätigung des Fahrtrichtungsanzeigers

Der Vergleich zwischen den weiteren charakteristischen Aktivitäten kann nicht eindeutig beantwortet werden, da entweder eine zu geringe Fallanzahl vorliegt und damit die Ergebnisse nicht ausreichend belastbar sind oder da auf Basis der ermittelten Prozentwerte keine eindeutige Interpretation möglich ist. Die Herausforderungen hinsichtlich der Interpretation sind der Tatsache geschuldet, dass die Aktivitäten teilweise mehrfach getätigt wurden und daher keine eindeutige Reihenfolge identifiziert werden kann. Bzgl. diesen Fällen können lediglich Tendenzen zu einer Reihenfolge geschlussfolgert werden. So passiert der Blick über die linke Schulter und die Fixation des Zielfahrstreifens tendenziell jeweils vor der Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers.

Diese Erkenntnisse können zusammen mit denen aus Abbildung 43 dazu genutzt werden einen prototypischen Ablauf des beobachteten Verhaltens zu beschreiben. Dieser ist in Abbildung 44 dargestellt.

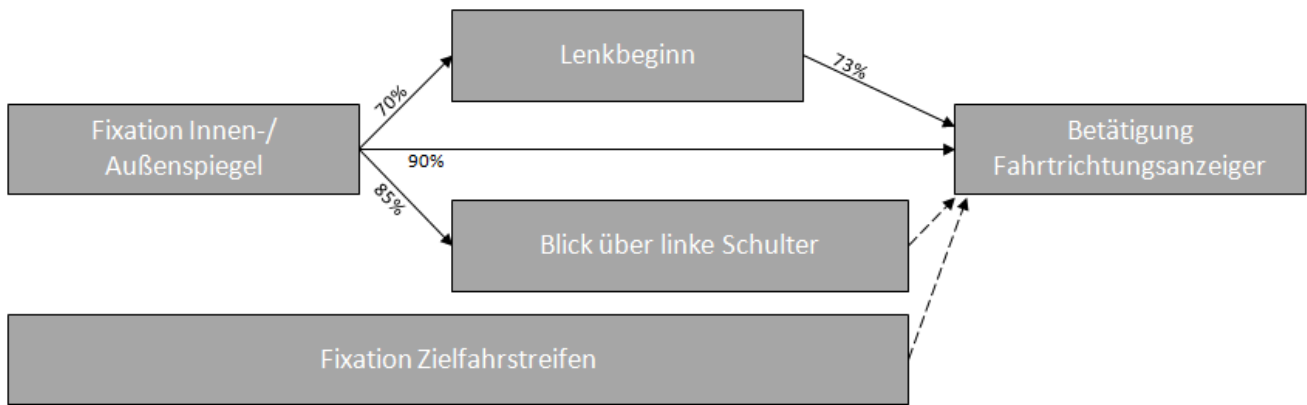


Abbildung 44: Prototypischer Ablauf (von links nach rechts) der charakteristischen Aktivitäten auf Basis der Ergebnisse der beispielhaften Anwendung (Pfeile geben eine Reihenfolge an, gestrichelte Pfeile eine Tendenz zu einer Reihenfolge. Gibt es keine Verbindung zwischen den Kästchen, ist keine klare Aussage möglich)

Der Vergleich zwischen dem beobachteten prototypischen Ablauf aus Abbildung 44 und dem Ablauf, der aus der Literatur abgeleitet wurde (Abbildung 31) zeigt, dass eine recht gute Übereinstimmung vorliegt. Demnach startet eine typische Aktivitätssequenz eines Fahrstreifenwechsels nach links sehr häufig mit einer Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels. Danach wird vermeintlich zeitlich parallel ein Blick über die linke Schulter getätigt und das Lenken wird begonnen. Der Fahrtrichtungsanzeiger wird meist erst nach dem Lenkbeginn (aber noch vor dem Überfahren der Fahrstreifenmarkierung) betätigt. Ergänzend zu dem Ablauf aus der Literatur wurde im Rahmen der beispielhaften Anwendung noch die Fixation des Zielfahrstreifens in den Ablauf eingegliedert, da diese Aktivität sehr häufig auftrat und auch hinsichtlich einer Verhaltensvorhersage wertvoll sein kann.

In Hypothese HR2 wurde ergänzend ermittelt, dass eine weitere Fixation des Innen- oder linken Außenspiegels nach einer ersten Fixation der AOI mit anschließender Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers in VR1 in 47,4% der insg. 19 Fälle und in VR2 in 81,3% der insg. 16 Fälle stattfand. Eine weitere Erkenntnis ist, dass der Fahrtrichtungsanzeiger sehr gleichmäßig verwendet wird. In VR1 wurde die Aktivität in 96,6% und in VR2 in 87,5% der Fälle entweder immer oder nie durchgeführt. Dies bedeutet, dass dieses Signal eine hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich der Betätigung hat und diese Information kann für einen Algorithmus wertvoll sein. Auf die Besonderheit einer Fixation des Zielfahrstreifens, die als charakteristische Aktivität angesehen wird, sei an dieser Stelle ebenfalls nochmals hingewiesen.

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse können mit der allgemeinen Theorie zur Phasen der Handlungsbildung (vgl. Kapitel 2.2.2) und aus dem phasenorientierten Fahrerverhaltensmodell (vgl. Kapitel 3.1) bzw. Theorie zu den konkreten Phasen des Manövers Fahrstreifenwechsel abgeglichen werden, um Aussagen zu einem möglichen Phasenbezug der charakteristischen Aktivitäten zu erhalten. Abbildung 45 zeigt eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Theorieerkenntnisse zu den allgemeinen bzw. manöverspezifischen Phasen.

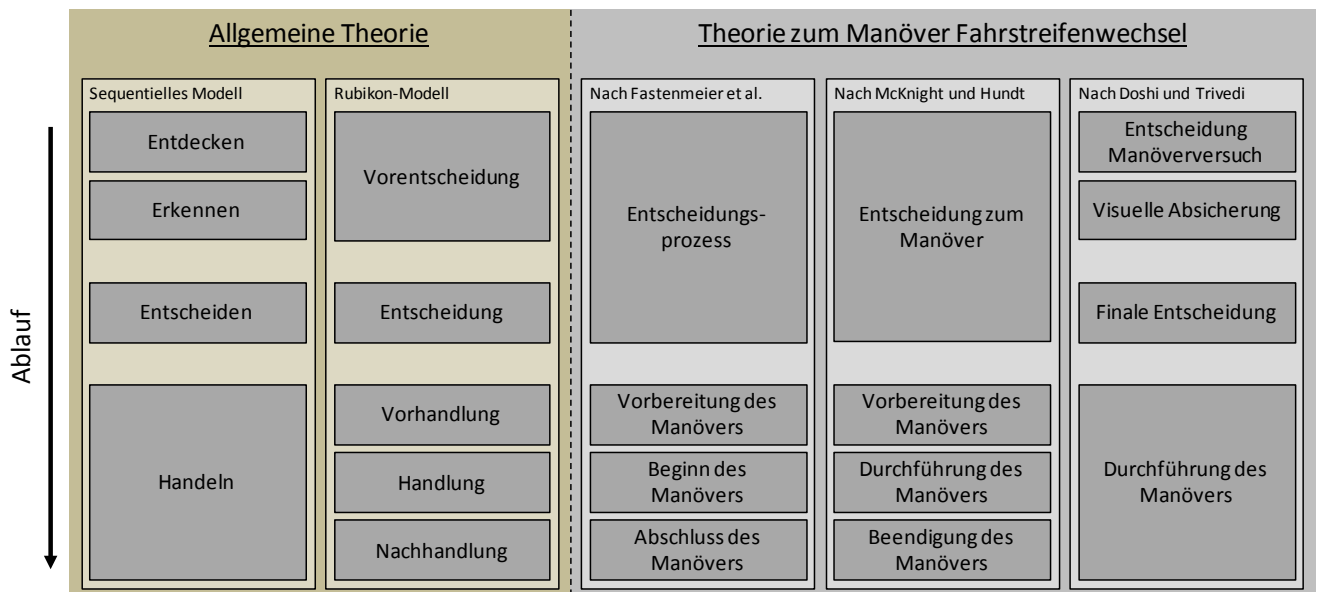


Abbildung 45: Gegenüberstellung der Theorieerkenntnisse zu allgemeinen bzw. manöverspezifischen Phasen des Fahrerverhaltens aus bzw. in Anlehnung an Luczak (1975), Rudolph (2003), Fastenmeier et al. (2001), McKnight und Hundt (1971a) und Doshi und Trivedi (2008)

Es ist erkennbar, dass sich die Phasenbezeichnungen häufig sehr ähneln. Fastenmeier et al. (2001) nennen zu den Phasen folgende spezifische Aktivitäten. Zum Entscheidungsprozess gehören demnach bspw. die Wahrnehmung von Hindernissen, die einen Fahrstreifenwechsel nötig werden lassen und das „Sichern“ durch Spiegelblicke. Während der Vorbereitungsphase wird der Fahrtrichtungsanzeiger betätigt und die Geschwindigkeit potentiell angepasst. Der Beginn des Manövers geht mit der Lenkbewegung einher und enthält erneut eine potentielle Geschwindigkeitsanpassung. Bezogen auf den Manöverabschluss wird das Fahrzeug im Zielfahrstreifen positioniert und das Signal des Fahrtrichtungsanzeigers wird beendet, sofern dies nicht automatisch passiert. McKnight und Hundt (1971a) geben sehr ähnliche Aktivitäten in den Phasen an.

Die Ergebnisse der vorliegenden beispielhaften Anwendung zeigen, dass die charakteristischen Aktivitäten der Katalogklasse I (Fixation Innenspiegel, Fixation linker Außenspiegel und Blick über linke Schulter) nicht ausschließlich in den frühen Phasen des Manövers eine Rolle spielen. Dennoch können diese Aktivitäten als erste Indikatoren für ein bevorstehendes Manöver gelten. Eine Abweichung zu den theoretischen Modellen kann in der Tatsache gesehen werden, dass der Fahrtrichtungsanzeiger häufig erst nach dem Lenkbeginn betätigt wird und somit eher der eigentlichen Durchführung als der Vorbereitung des Manövers zugerechnet werden muss. Der in Hypothese HR2 ermittelte Aspekt, dass teilweise eine weitere Spiegelfixation auftritt, kann so gedeutet werden, dass nach der Entscheidung zum Manöver noch weitere Aktivitäten zur Absicherung stattfinden können und somit ein potentieller Loop im Modell zur Informationsaufnahme vorhanden ist. In Fällen, in denen sich die Bedingungen bzgl. des Manövers stark verändert haben, kann es demnach vorkommen, dass trotz eigentlich getroffener Entscheidung das Manöver abgebrochen bzw. nicht direkt durchgeführt wird (vgl. auch Doshi und Trivedi (2011)). Zudem bleibt festzuhalten, dass die Fixation des Zielfahrstreifens häufig bereits vor der eigentlichen Manöverdurchführung stattfindet. Diese Aktivität kann demnach auch für eine Prädiktion wertvoll sein.

Zusammenfassend konnte in Kapitel 5.1.2 gezeigt werden, dass mit Hilfe der Ergebnisse der beispielhaften Anwendung der Aktivitätsanalyse vielfältige Erkenntnisse zum Fahrerverhalten ermittelt werden konnten. Diese reichen von typischen Ausprägungen zu den enthaltenen Eigenschaften über das Vorhandensein und die Reihenfolge von charakteristischen Aktivitäten bis hin zu Aussagen zum Bezug der charakteristischen Aktivitäten zu bestimmten Manöverphasen. Zudem konnte ein Vergleich zwischen dem erwarteten und beobachteten Verhalten beim Fahrstreifenwechsel durchgeführt werden. Es ist möglich weitere bzw. teilweise noch konkretere Aussagen zu Gemeinsamkeiten oder

Unterschieden auf Basis der analysierten Daten zu tätigen, sofern eine tiefergehende Auswertung durchgeführt wird. Dazu ist es jedoch nötig eine zumindest teilautomatisierte Auswertung der aufbereiteten Daten durchzuführen. Im vorliegenden Fall wurde ohne komplexere Skripte oder andere Hilfsmittel gearbeitet (siehe dazu auch Kapitel 6), weshalb nicht zwingend alle Feinheiten in Unterschieden und Gemeinsamkeiten ermittelt worden sind. Gerade in diesen Feinheiten können jedoch wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich einer Verhaltensvorhersage liegen, die zur Verbesserung von Assistenzsystemen genutzt werden können (vgl. Kapitel 1.1).

5.1.3. Diskussion zum Vorgehen der Aktivitätsanalyse zum Beispielmanöver

Im Rahmen der beispielhaften Anwendung konnte das Verhalten hinsichtlich charakteristischer Aktivitäten beim Manöver Fahrstreifenwechsel analysiert werden. Auch wenn bei der Anwendung kleinere Hinweise gewonnen werden konnten, an denen die Beschreibungsmethode oder das Vorgehen weiterentwickelt werden könnte, kann insg. ein positives Fazit gezogen werden. Auf dieses Potential wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels eingegangen.

Die aufgestellten Hypothesen konnten mit Hilfe der entsprechenden Codes und zugehörigen Suchlogik überprüft werden. Nachdem die Daten aufbereitet und analysiert waren, konnten die eigentlichen Tests durch gezielte Suche nach den relevanten Codes in den aufbereiteten Tabellen recht zügig vonstattengehen. Die Auswertung machte es möglich, das Verhalten hinsichtlich vorhandener charakteristischer Aktivitäten bzw. Muster zu analysieren. In Kapitel 5.1.1 bzw. Kapitel 5.1.2 konnte gezeigt werden, dass erste Muster bzgl. der Abfolge charakteristischer Aktivitäten gefunden werden konnten. Damit kann hinsichtlich Forschungsfrage 2 ein erstes positives Zwischenfazit gezogen werden. Die generelle Aussage zu den Forschungsfragen und zugehörigen Zielen wird jedoch erst in Kapitel 5.2 bzw. Kapitel 6 beschrieben.

Das gewählte Beispielmanöver stellte sich als passend heraus, da wie erwartet zu den Katalogklassen I, Q, L und mit kleineren Abstrichen Klasse S Aktivitäten im Verhalten der Probanden gefunden werden konnten.

Gemäß Forschungsfrage 2 gilt es auch einen passenden Detailgrad der Beschreibungsmethode zu finden. Die beispielhafte Anwendung hat gezeigt, dass mit dem gewählten Detailgrad der Definitionen innerhalb des Aktivitätskatalogs aber auch in Verbindung mit den in Kapitel 3.3 aufgestellten Regeln zu Mindestauern von Aktivitäten und Mindestveränderungen von Lenkradwinkel oder Pedalstellung ein guter Detailgrad gewählt wurde. Auf der einen Seite wurden das Verhalten nicht zu grob dargestellt, sodass kleinere Veränderungen nicht mehr hätten gefunden werden können und auf der anderen Seite wurden die Daten nicht durch sehr feine und dabei eigentlich weniger relevante Aktivitäten unnötig verkompliziert. Es ist empfehlenswert an dieser Stelle aber weitere Analysen durchzuführen, um diese Bewertung zu festigen. Die einzigen Abstriche, die bzgl. des Detailgrads gemacht werden müssen, betreffen die in Hypothese HK6 bzw. HG6 gesuchte Lenkschulter bzw. den gesuchten Lenkbeginn. Hier könnte eine Anpassung des Detailgrads bzgl. der Betrachtung der Aktivitäten der Querführung möglicherweise Einfluss auf das Ergebnis nehmen, da die aktuell gewählte Diskretisierung bzgl. des Lenkradwinkelverlaufs die Identifikation einer Lenkschulter erschwerte und auch einen eindeutigen Lenkbeginn nicht so einfach sichtbar machte.

Zur Analyse bzgl. Hypothese HK5, in der ein absoluter Lenkradwinkel betrachtet wurde, muss erwähnt werden, dass solche gezielten Analysen auf Basis der ermittelten Codes nur möglich sind, wenn der gesuchte Wert als eine Grenze zwischen zwei Ausprägungen der jeweiligen Eigenschaft definiert wurde. Daher nehmen die Grenzwerte der Ausprägungen eine wichtige Rolle ein. Es erscheint sinnvoll vorzusehen, dass die Grenzwerte, die grundsätzlich allgemeingültig formuliert werden sollten, für bestimmte Anwendungsfälle angepasst werden können.

Die detaillierteren Analysen der Aktivitäten aus Kapitel 5.1.2 haben gezeigt, dass teilweise eine genauere Definition des Zeitbereichs, in dem nach Aktivitäten gesucht wird, wichtig sein kann. Gerade bzgl. von Aussagen zur Reihenfolge von Aktivitäten erscheint es sinnvoll ein Maximum des zeitlichen Abstand zu definieren.

Die Ergebnisse der beispielhaften Anwendung wurden, wie bereits mehrfach erwähnt, durch die zugrundeliegenden Versuche beeinflusst. Auch wenn dies grundsätzlich nicht zu vermeiden ist, können

bzgl. des Vorgehens Lehren gezogen werden. Nach den Versuchen musste festgestellt werden, dass die Qualität der Blickdaten zu VR2 im Hinblick auf seitliche Blicke teilweise als nicht ausreichend bezeichnet werden muss. Durch diesen Sachverhalt reduzierte sich die Anzahl der auswertbaren Datensätze, wodurch einige Hypothesen nur mit einer als eher gering zu bezeichnenden Fallanzahl ausgewertet werden konnten. Die Tatsache, dass die Versuche zwischen den beiden Versuchsjahren gezielt variiert wurden, kann auf zwei Arten diskutiert werden. Auf der einen Seite konnten dadurch zwei Fälle betrachtet und auch an geeigneter Stelle verglichen werden. Auf der anderen Seite wurden keine Auswertungen getätigt, in denen alle Probanden zusammengefasst wurden. Dies hatte ebenfalls Einfluss auf die Fallanzahl. Es ist wünschenswert die Fallanzahl zu erhöhen, damit die Ergebnisse belastbarer werden (vgl. Kapitel 6).

Auch die grundlegende Eignung der Visualisierungsmethode (vgl. Kapitel 3.2.3) wurde im Rahmen der beispielhaften Anwendung stichprobenartig überprüft. Abbildung 46 zeigt ein Beispiel eines Probanden, der eine recht hohe Anzahl an Aktivitäten ausgeführt hat und verdeutlicht bei der zweiten Aktivität der Klasse I auch die Vorgehensweise bei sehr kurzen Aktivitäten, die analog dem Vorgehen bei Einzelheiten von technischen Zeichnungen (vgl. Hoischen und Fritz (2014)) separat vergrößert dargestellt werden.

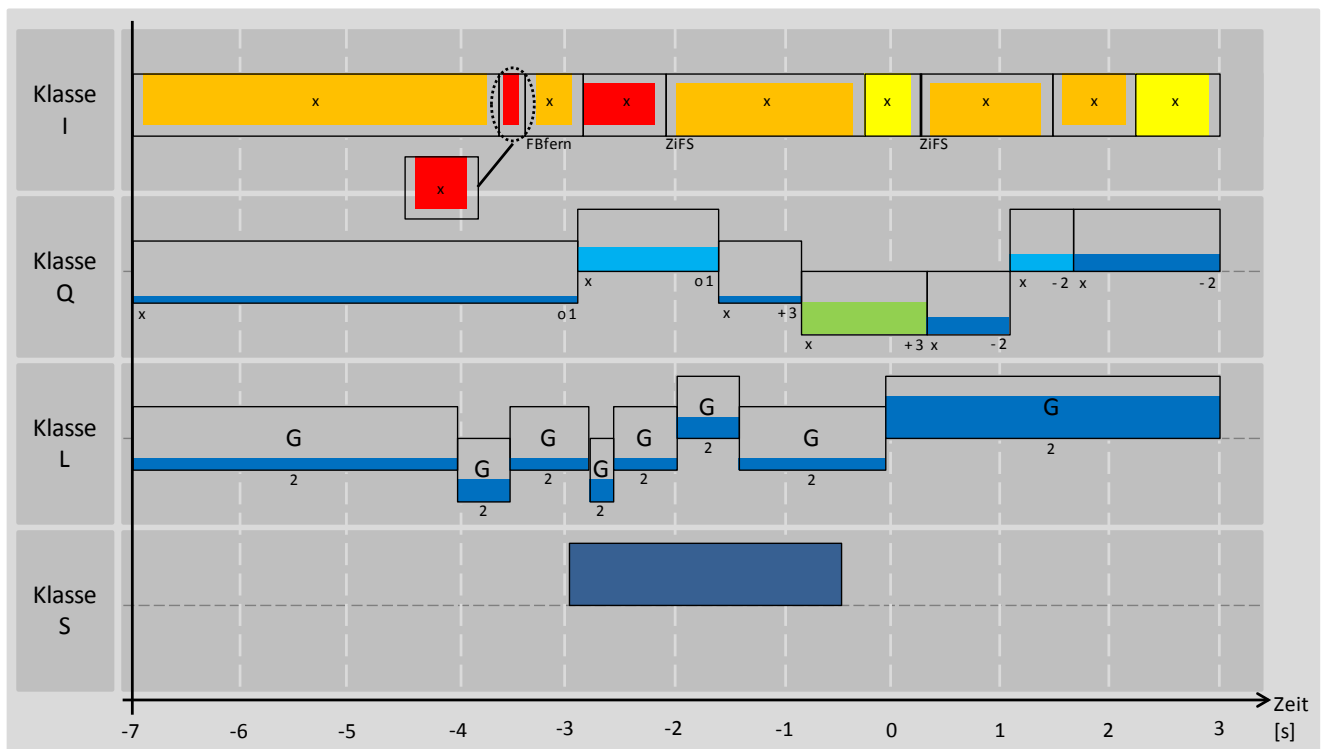


Abbildung 46: Visualisierung der Aktivitäten im Betrachtungszeitraum zu einer Beispielsrunde eines Probanden

Abbildung 46 kann beispielsweise schnell entnommen werden, dass eine Innenspiegelfixation vor einer Fixation des linken Außenspiegels stattgefunden hat und dass neben insg. fünf Fixationen durch die Frontscheibe noch zweimalig die Armaturen fixiert wurden. Zudem kann erkannt werden, dass keinerlei Aktivitäten am Bremspedal durchgeführt wurden, während das Gaspedal dauerhaft benutzt wurde und dass der Fahrtrichtungsanzeiger ca. 3s vor dem Markierungsübertritt und damit auch zeitlich minimal vor dem Lenkbeginn betätigt wurde. Die überwiegend blaue Färbung bei den beiden Klassen Q und L zeigen, dass nur geringe Bewegungsgeschwindigkeiten von Lenkrad und Pedalerie vorlagen.

Auch wenn klare Regeln zur Datenaufbereitung postuliert wurden, muss ein möglicher Einfluss des Auswerters der Daten erwähnt werden. Im Rahmen der beispielhaften Anwendung konnte dieser Sachverhalt nicht ausreichend untersucht werden.

Zur Übertragbarkeit der Ergebnisse wird resümiert, dass diese nur für den gewählten Anwendungsfall von Fahrversuchen im kontrollierten Feld vorhanden ist. Es bedarf weiterer Analysen vergleichbarer Manöver im Realverkehr, um die Aussagen zu untermauern.

Die Anwendung der Visualisierungsmethode hat gezeigt, dass bei sehr vielen Aktivitäten die Visualisierung unübersichtlich werden kann, während eine durchschnittliche Anzahl an Aktivitäten gut dargestellt und - sofern ein grundlegendes Wissen zu den Festlegungen der Visualisierung vorhanden ist - auch gut interpretiert werden kann. Weitere Analysen der Visualisierungsmethode sollten vorgesehen werden, um Verbesserungspotentiale aufdecken zu können (siehe auch Kapitel 6).

5.1.4. Diskussion der Versuche zur beispielhaften Anwendung

Nachfolgend werden die Versuche, die zur beispielhaften Anwendung gehören diskutiert und kritisch hinterfragt.

Bezogen auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse muss festgehalten werden, dass die Versuche im kontrollierten Feld stattgefunden haben. Auch wenn die gewählte Versuchsumgebung Vorteile hinsichtlich der Kontrolle der Versuchsbedingungen hat, ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Realversuche kritisch zu sehen. Vergleichende Analysen mit Versuchen aus dem Realverkehr sind erstrebenswert (siehe Kapitel 6). Ebenso muss ein möglicher Einfluss durch das Vorhandensein eines Versuchsleiters im Fahrzeug hinterfragt werden. So zeigen Vergleiche zwischen Versuchen mit und ohne Versuchsleiter, dass ein Einfluss eines Versuchsleiters im Fahrzeug auf bspw. die Betätigungshäufigkeit des Fahrtrichtungsanzeigers oder die Häufigkeit von Spiegelblicken vorhanden sein kann.

Auf dem Testgelände in Griesheim wurden Verkehrsschilder aufgestellt, um die Zielgeschwindigkeit von 50km/h sicherzustellen. Die Umgebung des Testgeländes muss ansonsten aber eher mit einer Landstraße bzw. Autobahn verglichen werden.

Das Vorhandensein eines weiteren Verkehrsteilnehmers hinter oder schräg hinter dem Fahrzeug in VR2 zielte darauf ab, die Versuche realitätsnäher zu gestalten und eine zweite leicht abweichende Manövertvariante abbilden zu können. Die Ergebnisse zeigen eine positive Tendenz dazu, dass eine erweiterte Absicherung der Umgebung in VR2 als relevant erachtet wurde. Zudem konnte erreicht werden, dass der Fahrtrichtungsanzeiger deutlich häufiger verwendet wurde. Es muss jedoch weiterhin festgehalten werden, dass bei stärkerem Verkehr rund um das Probandenfahrzeug vermutlich abweichende Ergebnisse erzielt worden wären.

Zu guter Letzt gilt es erneut kurz auf die Qualität der Blickdaten einzugehen. Diese muss gerade in Bezug auf VR2 teilweise als nicht optimal eingestuft werden. Die Bemühungen der Sicherung eines Mindeststandards sollten jedoch dazu geführt haben, dass die Belastbarkeit der Ergebnisse grundsätzlich gewahrt ist.

5.2. Diskussion der Methodik der Aktivitätsanalyse

Nachdem in Kapitel 5.1 bereits die Ergebnisse und das Vorgehen bei der beispielhaften Anwendung ausführlich diskutiert wurden, folgt an dieser Stelle die übergeordnete Diskussion zur Methodik der Aktivitätsanalyse aus Kapitel 3.

Als erster Schritt der Aktivitätsanalyse wurde das phasenbezogene Fahrerverhaltensmodell in Kapitel 3.1 aus dem Stand der Forschung abgeleitet. Im Rahmen der Diskussion zum Fahrerverhalten auf Basis der beispielhaften Anwendung (Kapitel 5.1.2) wurde aufgezeigt, dass zum Fahrstreifenwechsel spezifische Phasen in der Literatur gefunden werden können. Die ermittelten Aktivitäten der jeweiligen Phasen decken sich teilweise mit den erwarteten Aktivitäten aus der Literatur. Weiterführende Aussagen zum phasenbezogenen Fahrerverhaltensmodell sind nach der Anwendung zum Fahrstreifenwechsel nicht möglich. Das Modell kann jedoch genutzt werden, um mögliche Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten und die Entstehung des Verhaltens zu beleuchten.

Die Anforderungen zur Beschreibungsmethode, die in Kapitel 3.2.1 aufgestellt wurden, konnten mit der Methode nach eigener Einschätzung gut getroffen werden. Es muss jedoch angemerkt werden, dass nicht alle Anforderungen gezielt geprüft werden konnten. So ist es beispielsweise sehr schwierig eine Vollständigkeit der Methode zu belegen. Im Rahmen der beispielhaften Anwendung fiel jedoch keine Lücke in der Beschreibungsmethode auf.

Im Bezug zum Aktivitätskatalog (Kapitel 3.2.2) bleibt festzuhalten, dass zur Passung der Eigenschaften und Ausprägungen wenig Kritikpunkte gesammelt werden mussten. Es muss jedoch betont werden, dass nicht alle Eigenschaften und Ausprägungen im Rahmen der Anwendung in Kapitel 4 begutachtet werden konnten. Zum Beispiel wurden die Winkelbereiche der Kopffrotation oder Kopfneigung nicht analysiert. Zudem wurden die Klassen der Schaltvorgänge (U) und der sonstigen Aktivitäten (N) nicht in die beispielhafte Anwendung integriert. Bezüglich der Klasse zu Aktivitäten der Längsführung (L) sollte weiter versucht werden eigenständige Aktivitätsdauern zu finden, damit diese nicht aus Klasse Q (Querführung) übernommen werden müssen (siehe dazu auch Kapitel 6). Zudem sollte detaillierter hinterfragt werden, ob die Vereinfachung bzgl. der Umrechnung der Pedalwege von mm/s in %/s in der gewählten Form zulässig ist, oder ob hier eine Anpassung der Ausprägungen vorgenommen werden sollte. Zu den Grenzen der Ausprägungen der einzelnen Eigenschaften fiel auf, dass annähernd bei allen Aktivitäten der Längsführung lediglich die erste Ausprägung der Pedalbewegungsgeschwindigkeiten vorkam. Dies könnte ein Hinweis zu einer zu groben Einteilung sein. Beachtet man jedoch zusätzlich, dass die Längsführung im Beispielmanöver nur eine untergeordnete Rolle spielt, kann man zu dem Schluss kommen, dass vor einer Anpassung der Ausprägungseinteilung weitere Analysen zu anderen Manövern durchgeführt werden sollten. Die entwickelte Methode kann auf Basis der Erkenntnisse der beispielhaften Anwendung als grundsätzlich geeignet für den angedachten Zweck der Beschreibung des Fahrerverhaltens und der damit verbundenen Identifikation charakteristischer Aktivitäten zu einem Manöver angesehen werden. Die beispielhafte Anwendung hat gezeigt, dass das Fahrerverhalten auf Basis von Aktivitäten beschrieben werden kann und dass aus den damit zu gewinnenden Erkenntnissen das Verhalten analysiert werden kann. So konnten charakteristische Aktivitäten ermittelt werden. Zudem konnten Aussagen zur zeitlichen Verteilung und damit auch zur Frühzeitigkeit der Aktivitäten bezogen auf den Manöverbeginn und zur Reihenfolge der Aktivitäten getroffen werden. Letztlich war es möglich erste Muster zu finden und den prototypischen Ablauf der charakteristischen Aktivitäten aus den beobachteten Daten mit dem erwarteten Ablauf aus der Literatur zu vergleichen. Bedingt durch die zu erwartenden inter- und intraindividuellen Unterschiede stellt der ermittelte Ablauf jedoch kein komplett allgemeingültiges Muster dar. Die Zuordnung der charakteristischen Aktivitäten zu gewissen Manöverphasen stellte sich als herausfordernd dar. Einerseits bedingt durch die Wiederholungen und damit verbundenen Streuungen von Aktivitäten im Betrachtungszeitraum und ergänzend begründet in den identifizierten Unterschieden innerhalb und zwischen den Probanden, konnten nur wenige Aktivitäten klar zugeordnet werden. Hier gibt es weiteren Forschungsbedarf (siehe auch Kapitel 6), wobei nach eigener Einschätzung die Methode eine Phasenzuordnung grundsätzlich ermöglicht. Die in der Beschreibungsmethode enthaltene Diskretisierung des Verhaltens zu einzelnen Eigenschaften und Ausprägungen der Eigenschaften führen dazu, dass gewisse Muster und wiederkehrende Abfolgen von Aktivitäten identifiziert werden konnten. Auf der anderen Seite wurde jedoch auch klar, dass es bzgl. der Diskretisierung sehr stark auf den Detailgrad, aber auch auf die Grenzen zwischen den Ausprägungen ankommt. Für das Beispielmanöver scheint eine gute Passung dieses Aspekts vorhanden gewesen zu sein, jedoch bedarf es weiterer Forschung - v.a. auch zu anderen Manövern - um eine breitere Eignung der Methode nachweisen zu können. Bezogen auf den Fahrstreifenwechsel mussten Abstriche aufgrund des gewählten Detailgrads bei Feinheiten im Lenkverhalten gemacht werden. Die Identifikation eines konkreten Lenkbeginns bzw. eines Vorlenkens („Lenkschulter“) war nicht unproblematisch. Eine Teillösung kann in der sehr klaren Formulierung der relevanten Aktivitätscodes gefunden werden. Je klarer die Codes definiert sind, desto weniger Probleme können bei der Analyse bzw. Auswertung auftreten. Zu der klaren Formulierung gehört es auch, dass der Zeitbereich in der die Aktivitäten gesucht werden, beschrieben ist. Bzgl. der Analysen der Reihenfolge von Aktivitäten fiel zudem auf, dass teilweise eine zeitliche Abhängigkeit der Schritte

gefordert werden sollte, damit die Aktivitäten noch als zusammenhängend betrachtet werden können. Die eben genannten Punkte beziehen sich jedoch mehr auf die Vorgehensweise als auf die Beschreibungsmethode an sich.

Zur Visualisierung der Aktivitäten, die in Kapitel 3.2.3 vorgestellt wurde und die im Rahmen von Kapitel 4 beispielhaft angewendet wurde, kann diskutiert werden, dass Vorwissen nötig ist, um die entstandenen Grafiken deuten zu können. Liegt dieses Vorwissen vor, kann resümiert werden, dass die Methode grundsätzlich geeignet ist, um das Verhalten zu veranschaulichen.

Bezüglich des Vorgehens zur Aktivitätsanalyse (Kapitel 3.3) inkl. der Rahmenbedingungen und Regeln, bleibt festzuhalten, dass der Geltungsbereich der Beschreibungsmethode beachtet werden muss. Durch die vorhandenen Rahmenbedingungen kann ein großer Teil des Fahrerverhaltens abgedeckt werden, aber sobald das Verhalten bspw. bzgl. höherer Automatisierungsgrade oder spezieller Ausstattungen und Assistenzsysteme betrachtet werden soll, kann eine entsprechende Anpassung des Katalogs nötig werden.

6. Fazit und Ausblick

Nachfolgend wird ein Fazit zur Arbeit gegeben. Dabei werden einerseits die in Kapitel 2.6 aufgestellten Forschungsfragen wiederholt und die Ergebnisse aus dem Vorgehen zur Beantwortung bzw. Klärung der Fragen werden aufgezeigt. Des Weiteren werden zusätzliche Aspekte aus der Zielsetzung bzw. Motivation dieser Arbeit im Fazit erwähnt. Abschließend wird ein Ausblick gegeben, welche weiteren Schritte im Anschluss an die Arbeit durchgeführt werden sollten.

Forschungsfrage 1

Wie kann Fahrerverhalten auf Basis von Aktivitäten modellhaft beschrieben werden?

Zur ersten Forschungsfrage wurden in Kapitel 2.2.2 relevante Modelle des Fahrerverhaltens erläutert. Diese wurden in Kapitel 3.1 genutzt, um das phasenorientierte Fahrerverhaltensmodell abzuleiten. Diese Möglichkeit das Fahrerverhalten modellhaft beschreiben zu können, zeigt mit den Definitionen aus Kapitel 2.1 und den gezielten Entwicklungen hinsichtlich der Beschreibungsmethode aus Kapitel 3.2 die Bestrebungen zur Klärung von Forschungsfrage 1. Weitere rückführende Analysen zum Modell auf Basis der erhobenen Daten sind wünschenswert.

Forschungsfrage 2

Welche Aktivitäten eines Fahrzeugführers gibt es, wie können diese beschrieben werden und welcher Detailgrad ist dabei sinnvoll?

Mit der Beschreibungsmethode aus Kapitel 3.2 wurde eine Übersicht zu möglichen Aktivitäten eines Fahrers geschaffen. Mit den Festlegungen zu Eigenschaften und Ausprägungen der identifizierten Katalogklassen wurde ein Detailgrad etabliert, der sich in der beispielhaften Anwendung als grundsätzlich passend herausgestellt hat. Die Beschreibung der Aktivitäten umfasst auch eine Visualisierung, die ebenfalls beispielhaft angewendet wurde.

Forschungsfrage 3

Gibt es charakteristische Aktivitäten vor bzw. während einer Manöverausführung und können diese unterschiedlichen Phasen des Fahrerverhaltens zugerechnet werden?

Im Rahmen der Anwendung der Beschreibungsmethode zum Manöver Fahrstreifenwechsel konnten auf Basis von Literaturerkenntnissen unterschiedliche charakteristische Aktivitäten identifiziert werden. In den beobachteten Daten wurden folgende charakteristische Aktivitäten bestätigt:

- Fixation linker Außenspiegel
- Fixation Innenspiegel
- Blick über linke Schulter
- Fixation Zielfahrstreifen
- Lenkbeginn
- Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger

Zu diesen Aktivitäten wurde die zeitliche Verteilung während des gewählten Betrachtungszeitraums analysiert. Zudem wurde ein Abgleich zwischen einem prototypischen Ablauf aus Literaturerkenntnissen und dem beobachteten Ablauf getätigt. Die Aktivitäten konnten ergänzend teilweise spezifischen Manöverphasen zugeordnet werden.

Zusammengefasst ist es mit der entwickelten Beschreibungsmethode möglich eine Analyse der Aktivitäten des Fahrers durchzuführen. Auf Basis der Aktivitäten, die durch Codes beschrieben werden können, kann eine allgemeingültige Beschreibung getätigt werden. Die Beschreibung und

anschließende Überprüfung eines Gesamtverhaltens bzw. von Teilaspekten des Gesamtverhaltens konnte in der vorliegenden Arbeit nachgewiesen werden. Nach weiteren Prüfungen sollte es möglich werden, dass die Beschreibungsmethode in Zukunft auch direkt im Fahrzeug mitläuft, um den Fahrer und sein aktuelles Verhalten direkt während der Fahrt analysieren zu können. Sofern es ein klares Wissen darüber gibt, wie sich der Fahrer in der gerade vorliegenden Situation verhalten sollte, kann ein Abgleich zwischen dem SOLL-Verhalten (bspw. aus einer Aufgabenanalyse) und dem IST-Verhalten, welches durch die Aktivitäten beschrieben wird, erfolgen. Die Erkenntnisse der beispielhaften Anwendung zeigen, dass es wiederkehrende charakteristische Aktivitäten zu einem Fahrmanöver gibt, nach denen in einem entsprechend aufgebauten Assistenzsystem gesucht werden kann. Zeigt der Fahrer auf der einen Seite nun ein Verhalten, welches deutlich vom SOLL-Verhalten abweicht, kann eine Warnung oder gar ein Eingriff vorgesehen werden. Passt das IST-Verhalten jedoch zu einem typischen Verhalten eines speziellen Fahrmanövers, kann über eine im Assistenzsystem integrierte Absichtsdetektion ermittelt werden, welches Manöver der Fahrer aktuell beabsichtigt. Sofern dieses Manöver zur gerade vorliegenden Situation passend ist, kann die eigentlich vorgesehene Warnung oder ein Eingriff ausbleiben. Durch diese Funktionalität kann die Wirksamkeit, aber auch die Akzeptanz der Assistenzsysteme gesteigert werden (vgl. Kapitel 1.1). In Rahmen der beispielhaften Anwendung konnten keine tiefgehenden Analysen durchgeführt werden, da auf eine Teilautomatisierung der Auswertung über Skripte verzichtet wurde. Unter Zuhilfenahme von Möglichkeiten der tiefergehenden Analyse ist es aber möglich feinere Unterschiede im Verhalten festzustellen, sodass der Abgleich zwischen erwartetem und beobachtetem Verhalten detaillierter geschehen kann. Hier sollte zukünftig ein Forschungsfokus liegen. Wenn eine entsprechende computergestützte Verarbeitung der Aktivitäten über die Beschreibungsmethode vorgesehen wird, kann eine immer konkretere quantitative Aussage zur Passung des beobachteten zum erwarteten Verhalten getätigt werden, indem immer komplexere Verhaltenskombinationen computergestützt überprüft werden. Es sollte nach einem entsprechenden Schritt möglich sein die Abweichung des beobachteten Verhaltens vom erwarteten Verhalten zu bestimmen und je nach Grad bzw. Schwere der Abweichung eine Intervention über das FAS einzuleiten.

Auch wenn weitere Bestrebungen nötig sind, um das Fahrerverhalten in allen denkbaren Situationen adäquat beschreiben und letztlich auch vorhersagen zu können, bietet der in der vorliegenden Arbeit entwickelte Aktivitätskatalog und das Vorgehen zur Aktivitätsanalyse eine wertvolle Basis. Je nach Anwendungsfall kann es nötig werden, dass kleinere Anpassungen der Beschreibungsmethode durchgeführt werden. Sollen beispielsweise Reaktionen auf Notmanöver untersucht werden, bedarf es vermutlich einer feineren Unterteilung der hohen Wertebereiche bei der Lenkradwinkelveränderung oder der Pedalbetätigungsgeschwindigkeit.

Bezogen auf die Methode und die ermittelten Ergebnisse zum Beispielmanöver wurden in der Diskussion in Kapitel 5 Punkte genannt, die hinsichtlich einer Weiterentwicklung erstrebenswert sind. So sollte nach Möglichkeit bspw. die Wahl der Ausprägungen der Eigenschaften durch die Analyse weiterer Daten bekräftigt werden. Ebenso ist eine weiterführende Analyse der zeitlichen Beziehung der charakteristischen Aktivitäten wertvoll. Bevor aus der beispielhaften Anwendung ein allgemeingültiges Muster für Fahrstreifenwechsel abgeleitet werden kann, bedarf es der Prüfung der Übertragbarkeit auf anders geartete Fahrstreifenwechsel. Durch die Versuchsdurchführung im kontrollierten Feld und durch die speziellen Bedingungen hinsichtlich Umgebung, Verkehr und Versuchsetting sollten weitere Analysen vorgesehen werden. Diese können auch andere Fahrmanöver betreffen. So ist gerade der Abgleich mit dem Manöver „Folgen des aktuell gewählten Fahrstreifens“ sehr relevant, um die Aussagekraft der charakteristischen Aktivitäten besser beurteilen zu können. Sollte auch bei diesem Manöver bspw. der Zielfahrstreifen häufig fixiert werden, wäre die Aussagekraft dieser charakteristischen Aktivität geschmälert. Der Vergleich zu den ebenfalls in den zugrundeliegenden Versuchen durchgeführten „gezwungenen Fahrstreifenwechseln“ verspricht weitere Erkenntnisse zum Manöver Fahrstreifenwechsel. Auch die Auswertung einer höheren Fallzahl bzw. Versuche im Realverkehr sind wünschenswert.

Mit den vorliegenden Daten ist es möglich weitere gezielte Analysen hinsichtlich eines prototypischen Ablaufs durchzuführen. Beispielsweise können über sog. Markovketten Abläufe im Verhalten analysiert werden (vgl. Olsen et al. (2005)).

Für den Fall, dass Aktivitäten in Fahrzeugen mit höheren Automatisierungsgraden oder mit gewissen Sonderausstattungen durchgeführt werden sollen, bedarf es einer entsprechenden Anpassung des Katalogs. Generell erscheint es wichtig, den Katalog stetig an die sich verändernden Gegebenheiten der Fahrzeugführungsaufgabe anzupassen.

Neben der statistischen Absicherung der Hypothesen in Kapitel 4.4 können auch die weiteren Ergebnisse bzgl. des Fahrerverhaltens durch eine statistische Prüfung an Aussagekraft gewinnen. Der Mehrwert, der durch die Visualisierungsmethode erzielt werden kann, sollte in weiteren Analysen hinterfragt werden. Auch hinsichtlich der Handhabbarkeit der Visualisierung ist eine Weiterentwicklung erstrebenswert, damit diese auch ohne ausführliches Vorwissen über die Festlegungen in der Methode verwendet und interpretiert werden kann.

Abschließend bedarf es hinsichtlich der Zielsetzung der klaren Zuordnung von charakteristischen Aktivitäten zu Phasen im Fahrerverhalten einer etwas breiteren Datenbasis und weiterführender Analysen.

Anhang

Anhang A: Details zur Katalogklasse N - Beispiele zu Ausprägungen

Eigenschaft	Ausprägung
Sitzeinstellung	Längsposition verändern
	Sitzhöhe verändern
	Neigung der Sitzlehne verändern
Kopfstützeeneinstellung	Längsposition verändern
	Höhe verändern
	Neigung verändern
Spiegeleinstellungen	Rückspiegelposition anpassen
	Position des linken Außenspiegels einstellen
	Position des rechten Außenspiegels einstellen
Lichteinstellungen	Standlicht ein- / ausschalten
	Abblendlicht ein- / ausschalten
	Fernlicht ein- / ausschalten
	Licht auf „Automatik“ einstellen
Scheibenwischereinstellungen	Scheibenwischer aktivieren / deaktivieren
	Scheibenwischer auf „Automatik“ einstellen
Umgang Sicherheitsgurt	Sicherheitsgurt anlegen
	Sicherheitsgurt lösen
Umgang Zündschlüssel	In Zündschloss führen
	Auf on / off drehen
	Auf Startposition drehen
	In Startposition halten
	Loslassen
	Aus Zündschloss ziehen
Umgang Fenster	Fenster halb öffnen
	Fenster komplett öffnen
	Fenster halb schließen
	Fenster komplett schließen
Umgang Handbremse	Handbremse ziehen / lösen
	Hand zur Handbremse führen
Klimaanlageneinstellungen	Lüftungsstärke verändern
	Temperatur verändern
	Umluft einschalten
	Lüftung ausschalten
Radioeinstellungen	Sender wechseln
	Lautstärke erhöhen / senken
Navigationseinstellungen	In Karte zoomen
	Navigation starten / beenden
Infotainmentsystemeinstellungen	Songtitel auf USB-Stick suchen
	Internetwebseite aufrufen
	Point of Interest anzeigen lassen
Assistenzystemeinstellungen	Abstand zum Vorderfahrzeug senken (ACC)
	Assistenzsystem ausschalten
	Allg. Einstellung des Assistenzsystems ändern
Weitere	Spracheingabe / Geste durchführen
	Körperhaltung verändern

Anhang B: Übersicht der definierten Katalogklassen

Visuelle Informationsaufnahme (I)

I: Visuelle Informationsaufnahme						
.K: Horizontale Kopfdrehung	...W: Winkel der horizontalen Kopfdrehung [°]	...V: Vertikale Kopfdrehung	.....N: Winkel der vertikalen Kopfdrehung [°]	.....R: Fixationsraum	.....O: Fixationsobjekt	.....D: Aktivitätsdauer [s]
..1: Drehung nach links	....1: [0;10]	.....1: Neigung nach oben	.....1: [0;10]	.....F: Frontscheibe	.....B: Fahrbahn	.....1: [0;0,2]
..2: Drehung nach rechts	....2: [10;20]	.....2: Neigung nach unten	.....2: [10;20]	.....1: Links oben	.....1: Fahrbahn nah	.....2: [0,2;0,7]
..3: Keine Drehung	....3: [20;35]	.....3: Keine Neigung	.....3: [20;35]	.....2: Links unten	.....2: Fahrbahn fern	.....3: [0,7;1,2]
..x: Unbekannt	....4: [35;80]	.....x: Unbekannt	.....4: [35;50]	.....3: Mittig oben	.....3: Fahrbahnmarkierungen	.....4: [1,2;1,7]
	....5: [80;max]		.....5: [50;max]	.....4: Mittig unten	.....4: Gehsteig	.....5: [1,7;2,2]
	....x: Unbekannt		.....x: Unbekannt	.....5: Rechts oben	.....5: Benachbarter Fahrstreifen	.....6: [2,2;2,7]
				.....6: Rechts unten	.....6: Startfahrstreifen	.....7: [2,7;max]
				.....x: Unbekannt	.....7: Zielfahrstreifen	.....x: Unbekannt
				.....Q: Seitenscheibe	.....8: Parkstreifen	
				.....1: Vordere links	.....9: Sonstiges	
				.....2: Hintere links	.....x: Unbekannt	
				.....3: Vordere rechts	.....T: Verkehrsteilnehmer (VT)	
				.....4: Hintere rechts	.....1: Vorausfahrender VT	
				.....x: Unbekannt	.....2: Entgegenkommender VT	
				.....H: Heckscheibe	.....3: Querender VT	
				.....S: Spiegel	.....4: Seitlicher VT	
				.....1: Außenspiegel links	.....5: Sonstiger VT	
				.....2: Außenspiegel rechts	.....x: Unbekannt	
				.....3: Innenspiegel	.....Z: Verkehrszeichen	
				.....x: Unbekannt	.....I: Hindernis	
				.....A: Armaturen	.....C: Tacho	
				.....1: Instrumententafel	.....P: Display	
				.....2: Infotainment	.....G: Sonstiges	
				.....x: Unbekannt	.....x: Unbekannt	
				.....Y: Sonstiges		
				.....x: Unbekannt		

Querführung (Q)

Q: Querführung								
..W: Handwahl	...H: Aktion Hände	....G: Bewegungsgeschwindigkeit [°/s]	.....L: Lenkradwinkelveränderung [°]	.....B: Bereich der Ausgangsposition	.....S: Wert der Ausgangsposition [°]	.....D: Aktivitätsdauer [s]		
..1: Keine	...1: An Lenkrad (Lr) führen	....1: [0;5]	.....1: [0;2]	.....1: Positiv	.....1: [0;2]	.....1: [0;0,25]		
..2: Links	...2: Lr greifen	....2: [5;10]	.....2: [2;5]	.....2: Negativ	.....2: [2;10]	.....2: [0,25;0,75]		
..3: Rechts	...3: Lr kräftig greifen	....3: [10;20]	.....3: [5;10]	.....3: Neutral	.....3: [10;40]	.....3: [0,75;1,5]		
..4: Beide	...4: Lr annähernd konstant halten	....4: [20;80]	.....4: [10;30]		.....4: [40;100]	.....4: [1,5;2,5]		
..x: Unbekannt	...5: Lr nach links drehen (positiv)	....5: [80;120]	.....5: [30;50]		.....5: [100;200]	.....5: [2,5;4]		
	...6: Lr nach rechts drehen (negativ)	....6: [120;200]	.....6: [50;100]		.....6: [200;max]	.....6: [4;6]		
	...7: Lr loslassen	....7: [200;max]	.....7: [100;200]		.....x: Unbekannt	.....7: [6;max]		
	...8: Von Lr entfernen	....x: Unbekannt	.....8: [200;max]			.....x: Unbekannt		
	...x: Unbekannt		.....x: Unbekannt					

Längsführung (L)

L: Längsführung							
..P: Pedal	...A: Bewegung rechter Fuß	....G: Bewegungsgeschwindigkeit [%/s]	.....S: Ausgangspedalstellung [%]	.....W: Weg der Pedalbewegung [%]	.....D: Aktivitätsdauer[s]		
..1: Gaspedal	...1: Zu Pedal führen	....1: [0;40]	.....1: [0]	.....1: [0;2]	.....1: [0;0,25]		
..2: Bremspedal	...2: Position annähernd konstant halten	....2: [40;90]	.....2: [0;25]	.....2: [2;10]	.....2: [0,25;0,75]		
	...3: Pedal positiv betätigen (eindrücken)	....3: [90;120]	.....3: [25;50]	.....3: [10;20]	.....3: [0,75;1,5]		
	...4: Pedal negativ betätigen	....4: [120;200]	.....4: [50;75]	.....4: [20;50]	.....4: [1,5;2,5]		
	...5: Von Pedal entfernen	....5: [200;max]	.....5: [75;100]	.....5: [50;70]	.....5: [2,5;4]		
	...x: Unbekannt	....x: Unbekannt	.....x: Unbekannt	.....6: [70;100]	.....6: [4;6]		
				.....x: Unbekannt	.....7: [6;max]		
					.....x: Unbekannt		

Signalgebung (S)

S: Signalgebung			
..G: Signal	....R: Richtung	.....D: Aktivitätsdauer [s]	
..B: Fahrtrichtungsanzeiger	....1: Links	.....1: [0;0,5]	
...1: Aktivieren	....2: Rechts	.....2: [0,5;2,5]	
...2: Antippen	....x: Unbekannt	.....3: [2,5;5]	
...3: Deaktivieren		.....4: [5;9,5]	
..W: Warnblinker		.....5: [9,5;max]	
...1: Aktivieren		.....x: Unbekannt	
...2: Deaktivieren			
..L: Lichthupe			
..H: Hupe			

Schaltvorgang (U)

U: Schaltvorgang	
UA: Schaltvorgang Automatikgetriebe	
Hand- bewegung	..H: Aktion Hand (rechts)
	...1: Auf Schalthebel führen
	...2: Schalthebel auf Position P
	...3: Schalthebel auf Position N
	...4: Schalthebel auf Position D
	...5: Schalthebel auf Position R
	...6: Von Schalthebel entfernen
	...x: Unbekannt
UM: Schaltvorgang manuelles Getriebe	
Fuß- bewegung	..F: Aktion Fuß (links)
	...1: Zu Pedal führen
	...2: Position annähernd konstant halten
	...3: Pedal positiv betätigen (eindrücken)
	...4: Pedal negativ betätigen
	...5: Von Pedal entfernen
	...x: Unbekannt
Hand- bewegung	..K: Aktion Hand (rechts)
	...1: Hand auf Schalthebel führen
	...2: Schalthebel auf Position des ersten Gangs
	...3: Schalthebel auf Position des zweiten Gangs
	...4: Schalthebel auf Position des dritten Gangs
	...5: Schalthebel auf Position des vierten Gangs
	...6: Schalthebel auf Position des fünften Gangs
	...7: Schalthebel auf Position des sechsten Gangs
	...8: Schalthebel auf Position des siebten Gangs
	...9: Schalthebel auf Position des Rückwärtsgangs
	...10: Schalthebel auf neutrale Position
	...11: Hand von Schalthebel entfernen
	...x: Unbekannt

Sonstige Aktivitäten (N)

- Sitzeinstellung
- Kopfstützeinstellung
- Spiegeleinstellungen
- Lichteinstellungen
- Scheibenwischereinstellungen
- Umgang Sicherheitsgurt
- Umgang Zündschlüssel
- Umgang Fenster
- Umgang Handbremse
- Klimaanlageeinstellungen
- Radioeinstellungen
- Navigationseinstellungen
- Infotainmentsystemeinstellungen
- Assistenzsystemeinstellungen
- Weitere

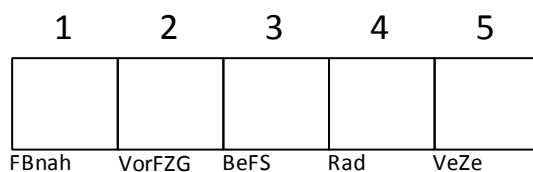
Beispiele zu Ausprägungen der oben genannten Eigenschaften können in Anhang A gefunden werden.

Anhang C: Abkürzungen und Beispiele zur Visualisierung der Eigenschaft Fixationsobjekt der Katalogklasse I

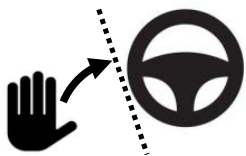
Abkürzungen der Fixationsobjekte der Katalogklasse I

Name Fixationsobjekt	Abkürzung	Name Fixationsobjekt	Abkürzung
Fahrbahn nah	FBnah	Radfahrer	Rad
Fahrbahn fern	FBfern	Fußgänger	FuGä
Vorausfahrendes Fahrzeug	VorFzg	Sonstiger Verkehrsteilnehmer	SoVK
Entgegenkommendes Fahrzeug	EntFzg	Parkstreifen	PaSt
Benachbarter Fahrstreifen	BeFS	Verkehrszeichen	VeZe
Startfahrstreifen	StFS	Fahrbahnmarkierungen	FaMa
Zielfahrstreifen	ZiFS	Tacho	Ta
Querverkehr	QuVe	Hindernis	Hin
Gehsteig	Geh	Sonstiges	Son

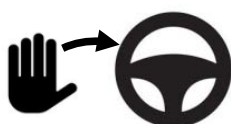
Visualisierungsbeispiele zu den Fixationsobjekten der Katalogklasse I



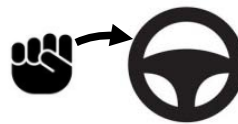
Anhang D: Piktogramme zur Eigenschaft Aktion Hand der Katalogklasse Q



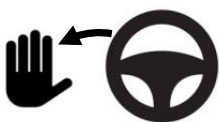
Piktogramm1:
an Lenkrad führen



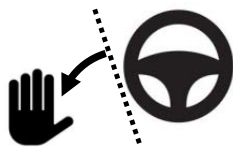
Piktogramm2:
Lenkrad greifen



Piktogramm3:
Lenkrad kräftig greifen

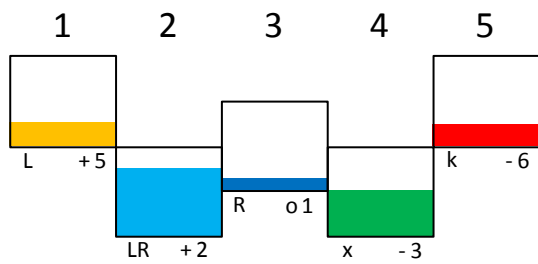


Piktogramm7:
Lenkrad loslassen

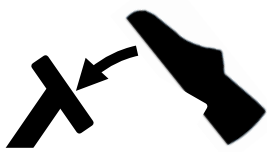


Piktogramm8:
von Lenkrad entfernen

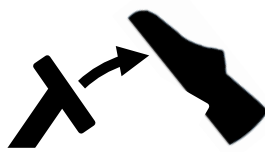
Anhang E: Beispiele zur Visualisierung der Katalogklasse Q



Anhang F: Piktogramme zur Eigenschaft Bewegung rechter Fuß der Katalogklasse L



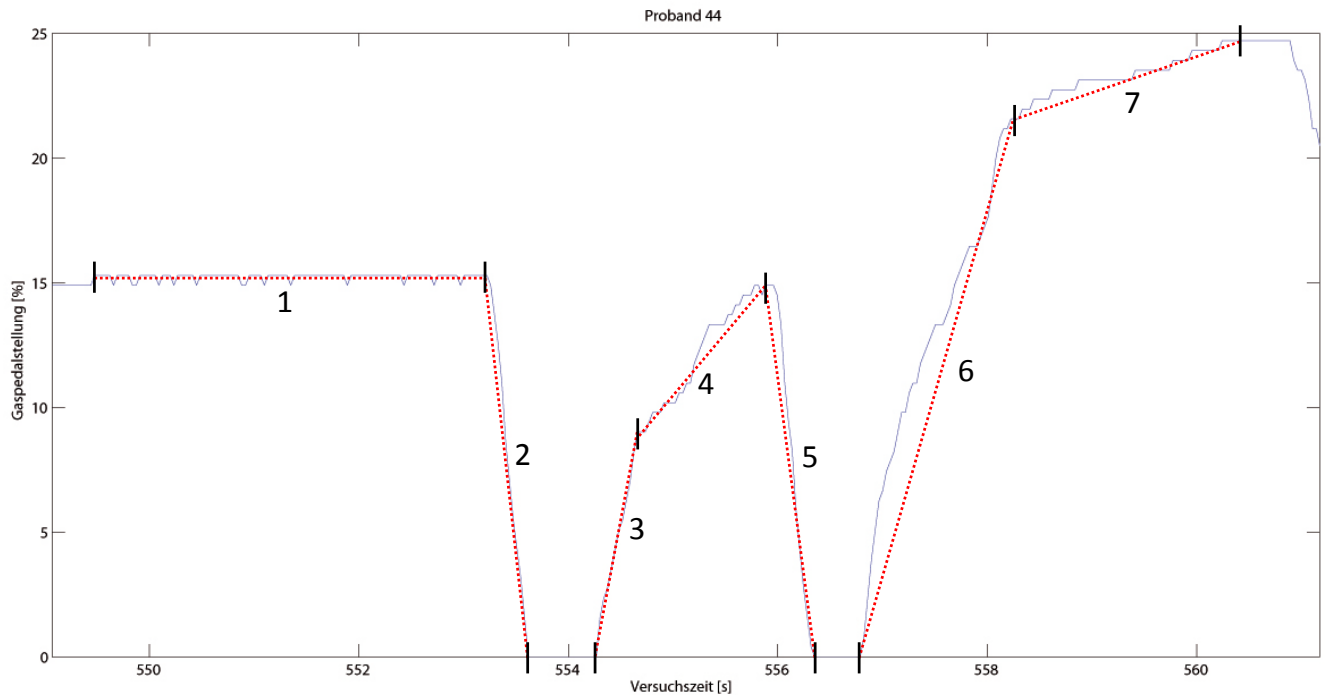
Piktogramm1:
zu Pedal führen



Piktogramm5:
von Pedal entfernen

Anhang G: Beispiel zur Aktivitätsermittlung der Katalogklasse L

Proband 44 - Runde 3



#	Kurz-bezeichnung	Zeit-Beginn [s]	Zeit-Ende [s]	Dauer [s]	Pedalst.-Beginn [%]	Pedalst.-Ende [%]	Pedalst.-Veränderung [%]	Pedal-Geschw. [%/s]
1	konstant halten	549,61	553,23	3,62	15,29	15,29	0,00	0,00
2	negativ	553,23	553,62	0,39	15,29	0,00	15,29	39,21
3	positiv	554,27	554,67	0,40	0,00	9,02	9,02	22,55
4	positiv	554,67	555,97	1,30	9,02	14,90	5,88	4,52
5	negativ	555,97	556,35	0,38	14,90	0,00	14,90	39,21
6	positiv	556,81	558,20	1,39	0,00	21,57	21,57	15,52
7	positiv	558,20	560,89	2,69	21,57	24,71	3,14	1,17

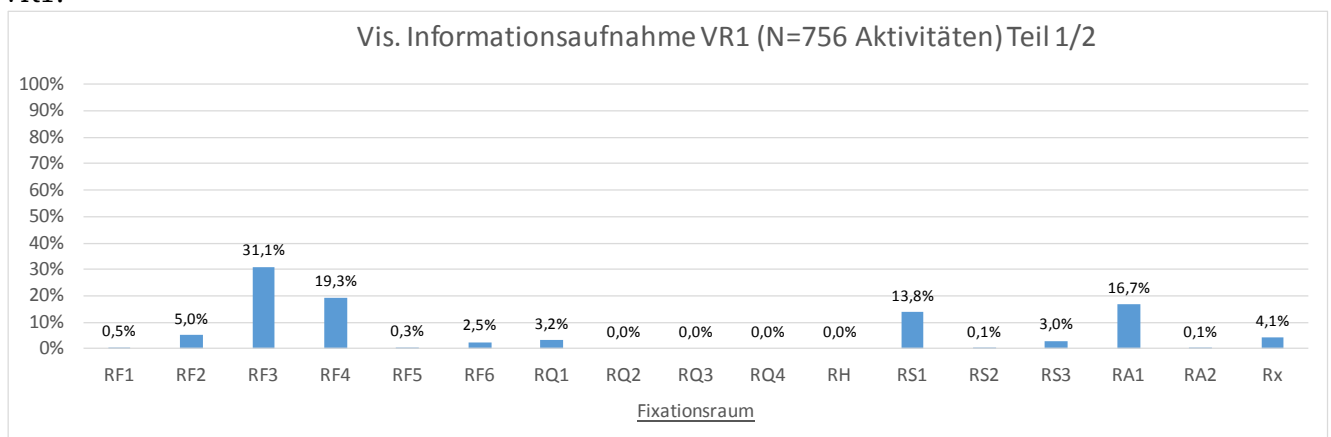
#	Kurz-bezeichnung	P	A	G	S	W	D	Gesamtcode
1	konstant halten	P1	A2	G1	S2	W1	D5	L-P1-A2-G1-S2-W1-D5
2	negativ	P1	A4	G1	S2	W3	D2	L-P1-A4-G1-S2-W3-D2
3	positiv	P1	A3	G1	S1	W2	D2	L-P1-A3-G1-S1-W2-D2
4	positiv	P1	A3	G1	S2	W2	D3	L-P1-A3-G1-S2-W2-D3
5	negativ	P1	A4	G1	S2	W3	D2	L-P1-A4-G1-S2-W3-D2
6	positiv	P1	A3	G1	S1	W4	D3	L-P1-A3-G1-S1-W4-D3
7	positiv	P1	A3	G1	S2	W2	D5	L-P1-A3-G1-S2-W2-D5

Anhang H: Darstellung der Häufigkeiten bzgl. der Ausprägungen der einzelnen Eigenschaften der Katalogklassen

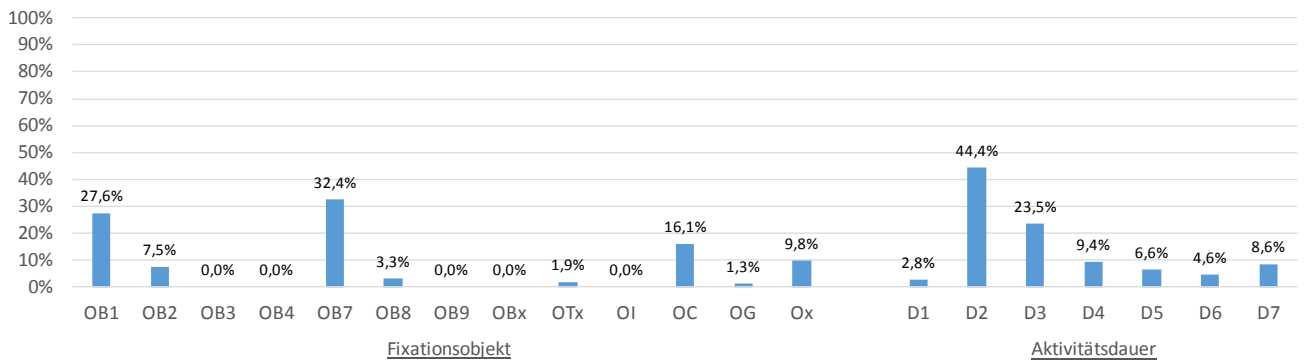
Visuelle Informationsaufnahme (I)

Ausprägung	Bedeutung	Ausprägung	Bedeutung
Fixationsraum		Fixationsobjekt	
RF1	Frontscheibe - Links oben	OB1	Fahrbahn (FB) - FB nah
RF2	Frontscheibe - Links unten	OB2	FB - FB fern
RF3	Frontscheibe - Mittig oben	OB3	FB - Fahrbahnmarkierungen
RF4	Frontscheibe - Mittig unten	OB4	FB - Gehsteig
RF5	Frontscheibe - Rechts oben	OB5	FB - Benachbarter Fahrstreifen
RF6	Frontscheibe - Rechts unten	OB6	FB - Startfahrstreifen
RQ1	Seitenscheibe - Vordere links	OB7	FB - Zielfahrstreifen
RQ2	Seitenscheibe - Hintere links	OB8	FB - Parkstreifen
RQ3	Seitenscheibe - Vordere rechts	OB9	FB - Sonstiges
RQ4	Seitenscheibe - Hintere rechts	OBx	FB - Unbekannt
RH	Heckscheibe	OTx	Verkehrsteilnehmer - Unbekannt
RS1	Spiegel - Außenspiegel links	OI	Hindernis
RS2	Spiegel - Außenspiegel rechts	OC	Tacho
RS3	Spiegel - Innenspiegel	OG	Sonstiges
RA1	Armaturen - Instrumententafel	Ox	Unbekannt
RA2	Armaturen - Infotainment	Aktivitätsdauer	
Rx	Unbekannt	D1	[0;0,2]s
		D2	]0,2;0,7]s
		D3	]0,7;1,2]s
		D4	]1,2;1,7]s
		D5	]1,7;2,2]s
		D6	]2,2;2,7]s
		D7	]2,7;max]s

VR1:

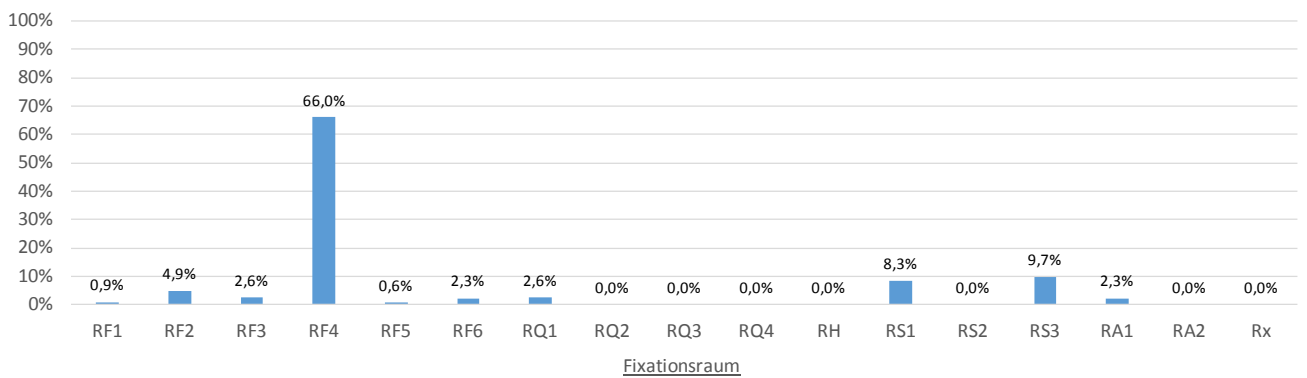


Vis. Informationsaufnahme VR1 (N=756 Aktivitäten) Teil 2/2

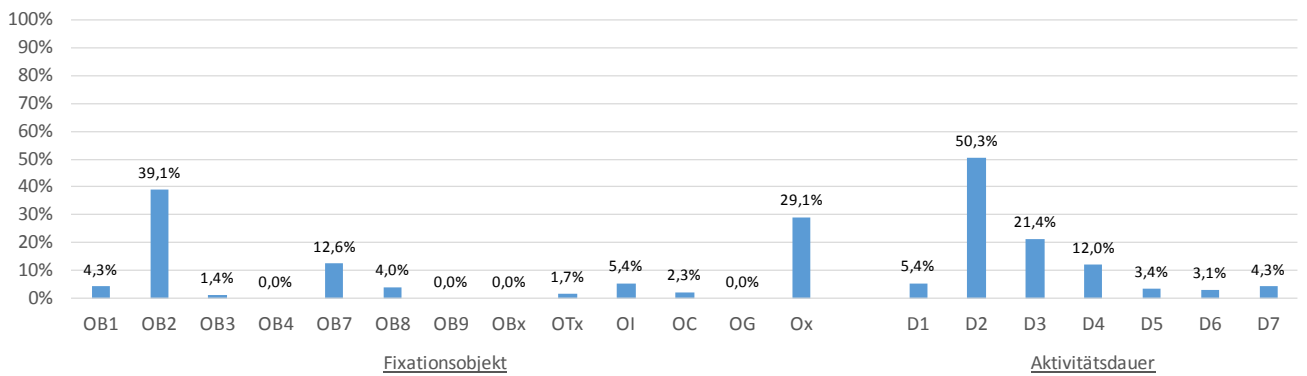


VR2:

Vis. Informationsaufnahme VR2 (N=350 Aktivitäten) Teil 1/2



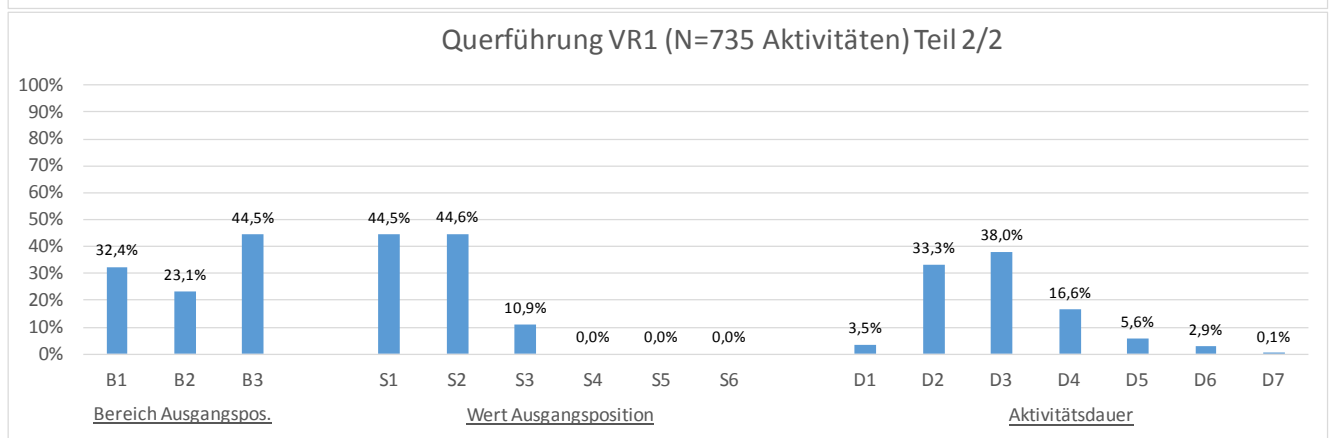
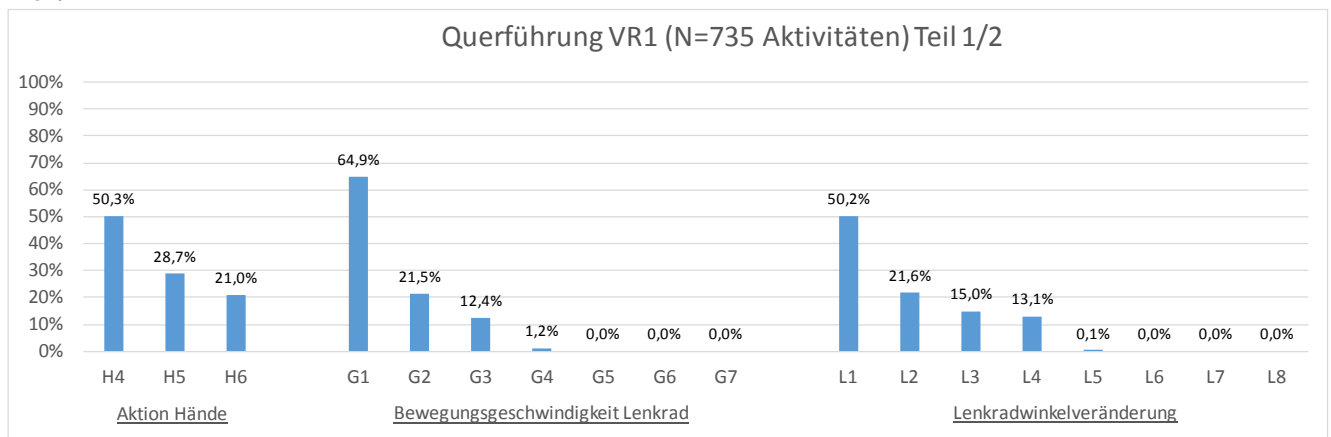
Vis. Informationsaufnahme VR2 (N=350 Aktivitäten) Teil 2/2



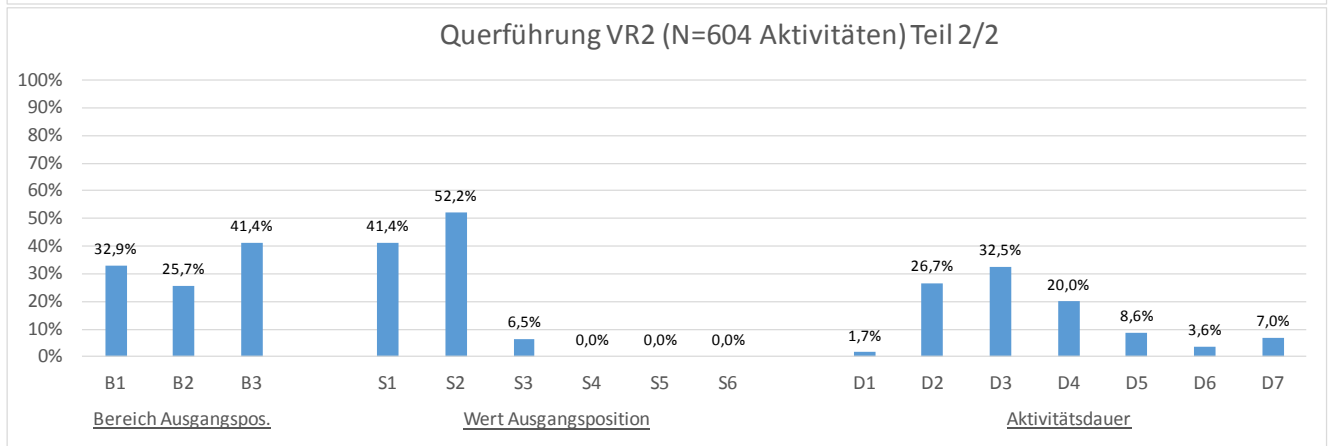
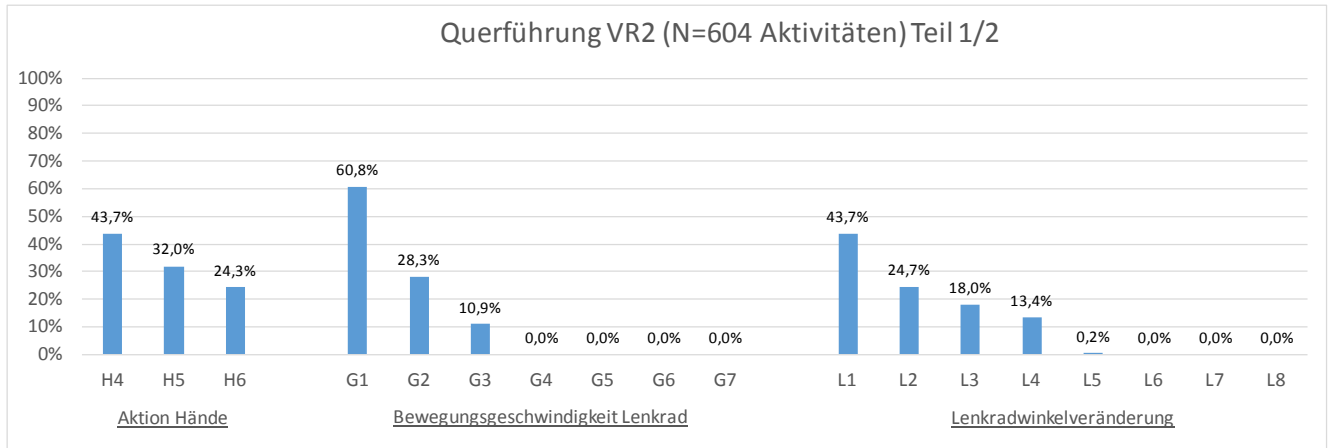
Querführung (Q)

Ausprägung	Bedeutung	Ausprägung	Bedeutung
Aktion Hände am Lenkrad (Lr)		Bereich der Ausgangsposition	
H4	Lr annähernd konstant halten	B1	Positiv
H5	Lr nach links drehen (positiv)	B2	Negativ
H6	Lr nach rechts drehen (negativ)	B3	Neutral
Bewegungsgeschwindigkeit des Lenkrads		Wert der Ausgangsposition	
G1	[0;5]°/s	S1	[0;2]°
G2	]5;10]°/s	S2	]2;10]°
G3	]10;20]°/s	S3	]10;40]°
G4	]20;80]°/s	S4	]40;100]°
G5	]80;120]°/s	S5	]100;2000]°
G6	]120;200]°/s	S6	]200;max]°
G7	]200;max]°/s	Aktivitätsdauer	
Lenkradwinkelveränderung		D1	[0;0,25]s
L1	[0;2]°	D2	]0,25;0,75]s
L2	]2;5]°	D3	]0,75;1,5]s
L3	]5;10]°	D4	]1,5;2,5]s
L4	]10;30]°	D5	]2,5;4]s
L5	]30;50]°	D6	]4;6]s
L6	]50;100]°	D7	]6;max]s
L7	]100;200]°		
L8	]200;max]°		

VR1:



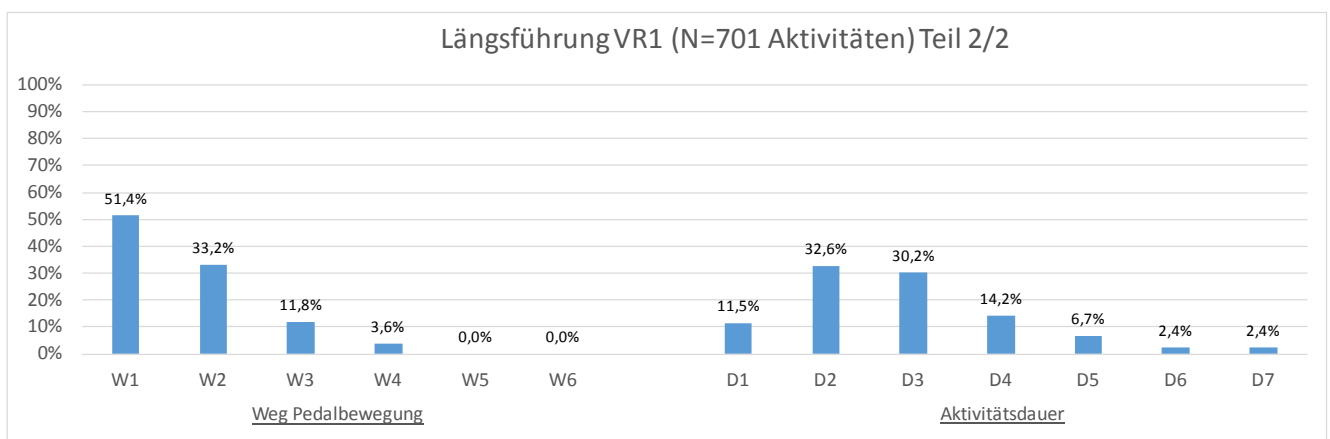
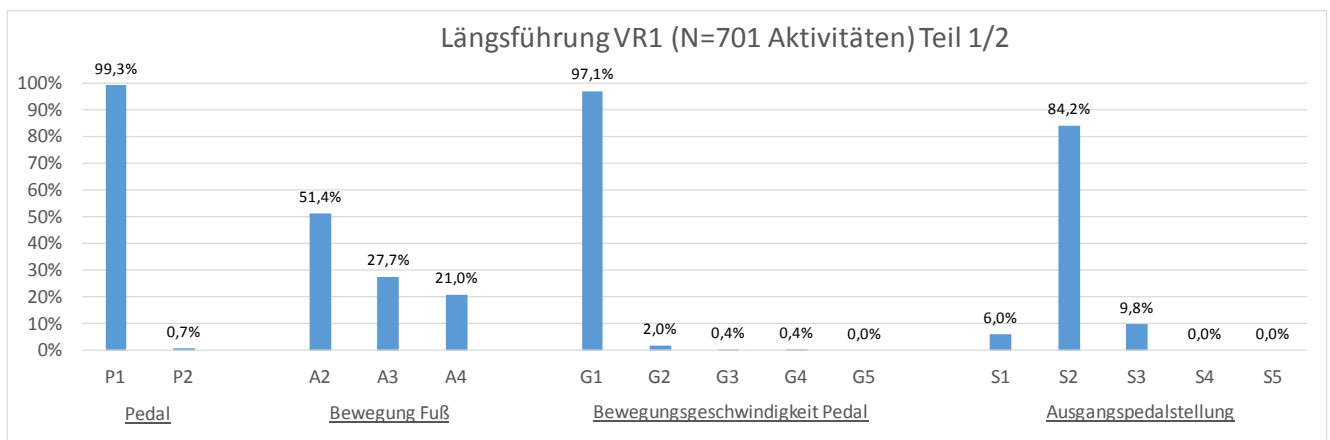
VR2:



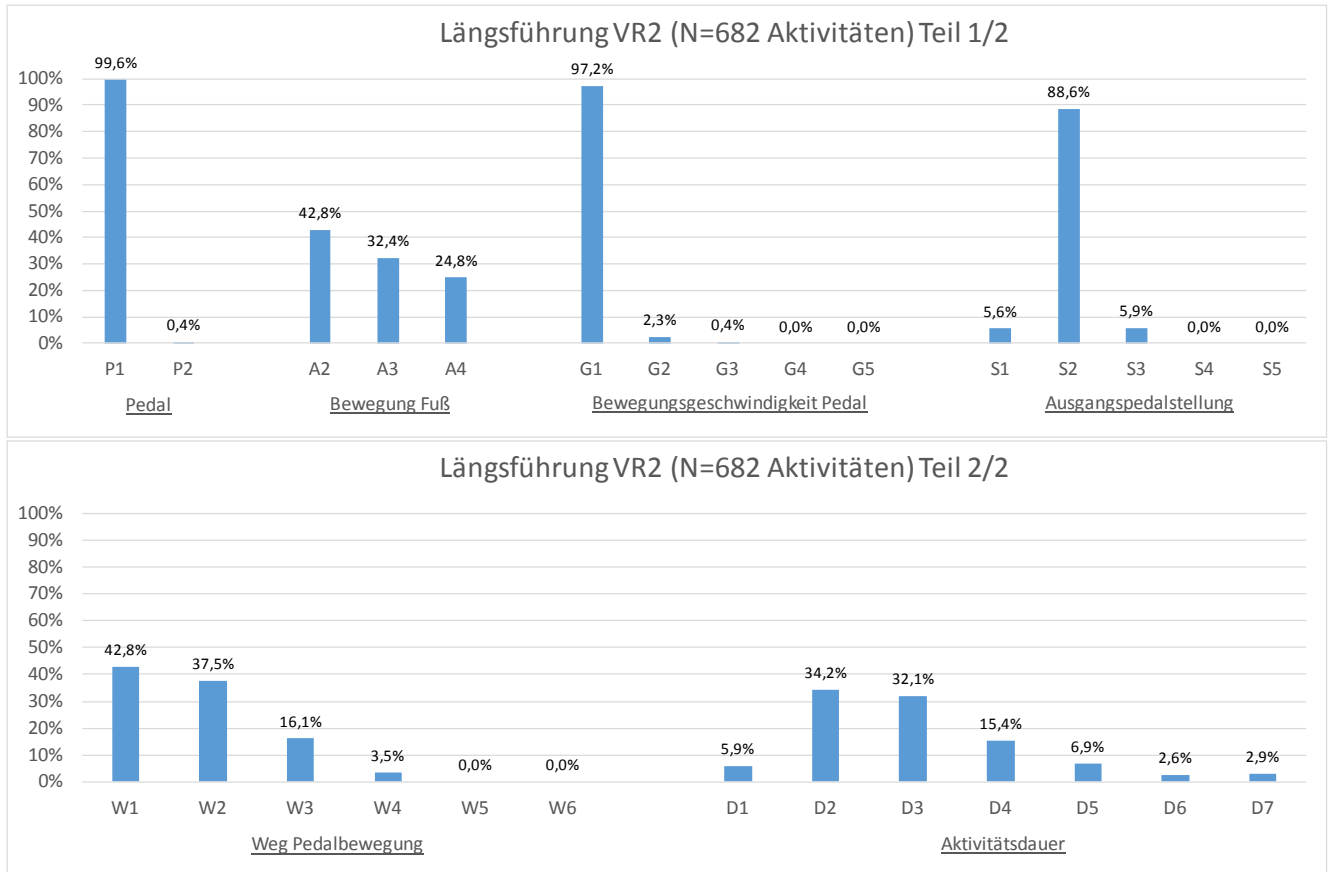
Längsführung (L)

Ausprägung	Bedeutung	Ausprägung	Bedeutung
Pedal		Weg der Pedalbewegung	
P1	Gaspedal	W1	[0;2]%
P2	Bremspedal	W2	]2;10]%
Bewegung rechter Fuß		W3	]10;20]%
A2	Position annähernd konstant halten	W4	]20;50]%
A3	Pedal positiv betätigen (eindrücken)	W5	]50;70]%
A4	Pedal negativ betätigen	W6	]70;100]%
Bewegungsgeschwindigkeit des Pedals		Aktivitätsdauer	
G1	[0;40]%/s	D1	[0;0,25]s
G2	]40;90]%/s	D2	]0,25;0,75]s
G3	]90;120]%/s	D3	]0,75;1,5]s
G4	]120;200]%/s	D4	]1,5;2,5]s
G5	]200;max]%/s	D5	]2,5;4]s
Ausgangspedalstellung		D6	]4;6]s
S1	[0]%	D7	]6;max]s
S2	]0;25]%		
S3	]25;50]%		
S4	]50;75]%		
S5	]75;100]%		

VR1:



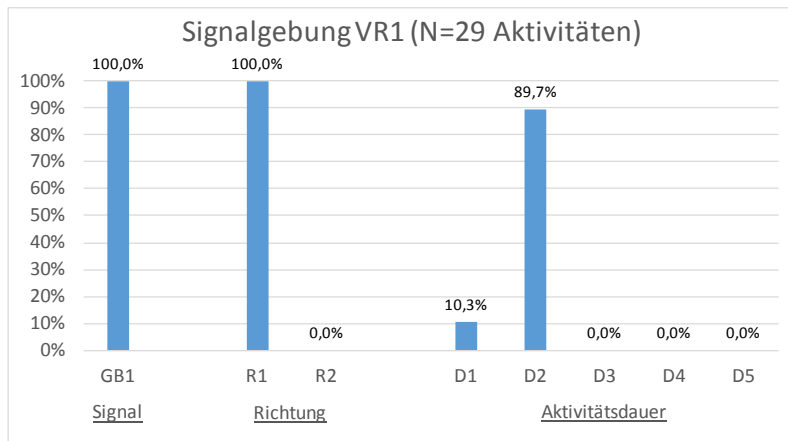
VR2:



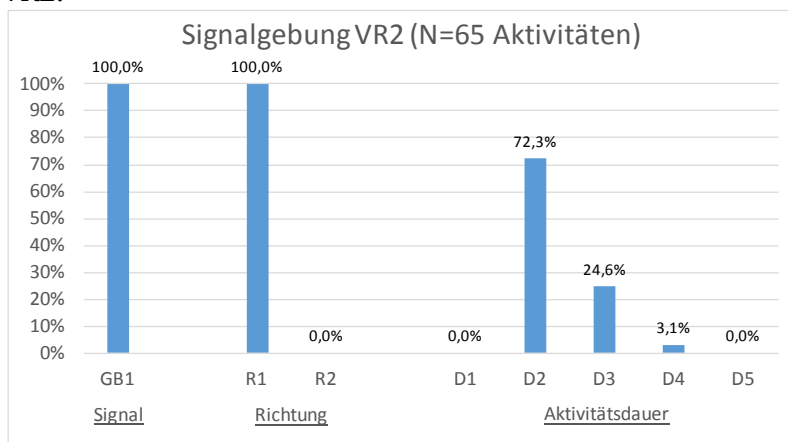
Signalgebung (S)

Ausprägung	Bedeutung	Ausprägung	Bedeutung
Signal		Aktivitätsdauer	
GB1	Fahrtrichtungsanzeiger - aktivieren	D1	[0;0,5]s
Richtung		D2	]0,5;2,7]s
R1	Links	D3	]2,7;4]s
R2	Rechts	D4	]4;8]s
		D5	]8;max]s

VR1:



VR2:



Anhang I: Übersicht der Wahrscheinlichkeiten bzgl. der Reihenfolge unterschiedlicher charakteristischer Aktivitäten

Aktivität 1	Aktivität 2	Wahrscheinlichkeit, dass Aktivität 1 vor Aktivität 2 auftritt	
Fixation Innen- oder linker Außenspiegel	Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers	VR1 (N=28)	92,9%
		VR2 (N=29)	86,2%
Fixation Innen- oder linker Außenspiegel	Blick über die linke Schulter	VR1 (N=18)	100%
		VR2 (N=7)	71,4% ▼
Fixation Innen- oder linker Außenspiegel	Lenkbeginn	VR1 (N=76)	75%
		VR2 (N=33)	63,6%
Fixation Innen- oder linker Außenspiegel	Fixation des Zielfahrstreifens	VR1 (N=46)	23,9% (63% nicht eindeutig)
		VR2 (N=20)	15% (60% nicht eindeutig)
Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers	Blick über die linke Schulter	VR1 (N=10)	20% (10% nicht eindeutig) ▼
		VR2 (N=7)	28,6% ▼
Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers	Lenkbeginn	VR1 (N=28)	14,3%
		VR2 (N=65)	40%
Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers	Fixation des Zielfahrstreifens	VR1 (N=23)	8,7% (69,6% nicht eindeutig)
		VR2 (N=22)	27,3% (22,7% nicht eindeutig)
Blick über die linke Schulter	Lenkbeginn	VR1 (N=20)	60% (5% nicht eindeutig)
		VR2 (N=7)	28,6% ▼
Blick über die linke Schulter	Fixation des Zielfahrstreifens	VR1 (N=14)	14,3% (78,6% nicht eindeutig) ▼
		VR2 (N=2)	50% (50% nicht eindeutig) ▼
Lenkbeginn	Fixation des Zielfahrstreifens	VR1 (N=55)	30,9% (50,9% nicht eindeutig)
		VR2 (N=23)	47,8% (26,1% nicht eindeutig)

Mit einem Warnsymbol (▼) hervorgehoben sind hierbei eher geringe Fallanzahlen (unter N=15), bei denen keine eindeutige Aussage möglich ist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Deduktion und Induktion bei einer Fahrermodellierung (angelehnt an Schurz (2014), ebenfalls in Heine (i.V.) enthalten)	3
Abbildung 2: Sequentielles Modell der Informationsverarbeitung angelehnt an Luczak (1975) und Schlick et al. (2010)	12
Abbildung 3: Darstellung des Rubikon-Modells in Anlehnung an Achtziger und Gollwitzer (2009), Achtziger und Gollwitzer (2010) und Rudolph (2003), auf Basis von Heckhausen und Gollwitzer (1987)	13
Abbildung 4: Strukturierendes Arbeitsmodell zur psychologischen Handlungsforschung von Hommel und Nattkemper (2011)	14
Abbildung 5: Übersicht des „task“ eines Fahrstreifenwechsels aus der Aufgabenanalyse von McKnight und Adams (1970a) in englischer Originalsprache inkl. Hervorhebung besonders interessanter Zeilen in der Farbe blau	25
Abbildung 6: Beispiel der beschriebenen Aktivitäten der Einheit zum „Starten des Fahrzeugs, dem anschließenden Geradeausfahren und dem anschließenden Stoppen des Fahrzeugs“ übersetzt aus OECD (1981)	26
Abbildung 7: Auszug aus dem „plan“ einer Überholaufgabe der Aufgabenanalyse von Walker et al. (2015) in englischer Originalsprache inkl. Hervorhebung besonders interessanter Zeilen in der Farbe blau	30
Abbildung 8: Übersicht zu den aufgestellten Forschungsfragen und deren Inhalten, dem Vorgehen im Rahmen der Beantwortung und den Ergebnisse der einzelnen Vorgehensschritte	34
Abbildung 9: Zusammenführung der Modelle von Heckhausen und Gollwitzer (1987) und Luczak (1975)	36
Abbildung 10: Phasenorientiertes Fahrerverhaltensmodell unter Berücksichtigung von Heckhausen und Gollwitzer (1987), Luczak (1975), Donges (1982) und Schlick et al. (2010) in Anlehnung an Luczak (1989)	37
Abbildung 11: Strukturierung bzgl. der identifizierten Gruppen des Katalogs zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers (in Anlehnung an Erkenntnisse aus Luczak (1975) und Bubb (2002))	41
Abbildung 12: Verdeutlichung des grundsätzlichen Aufbaus des Katalogs mit Klassen, Eigenschaften und Ausprägungen	42
Abbildung 13: Katalogklasse visuelle Informationsaufnahme (I)	46
Abbildung 14: Katalogklasse Querführung (Q)	49
Abbildung 15: Katalogklasse Längsführung (L)	52
Abbildung 16: Katalogklasse Signalgebung (S)	53
Abbildung 17: Katalogklasse Schaltvorgang (U)	55
Abbildung 18: Verdeutlichung des Ansatzes einer Zeitleiste zur Visualisierung der Aktivitäten	58
Abbildung 19: Auszug von elf Möglichkeiten zur Visualisierung der Kopfdrehung (nummerierte Kästchen, beispielhafte Erläuterungen können dem Text entnommen werden)	59
Abbildung 20: Darstellung der Visualisierung der insg. sieben Ausprägungen zum Fixationsraum Frontscheibe (Farbton orange) - links oben (1), links unten (2), mittig oben (3), mittig unten (4), rechts oben (5), rechts unten (6) und unbekannt (7)	59
Abbildung 21: Darstellung der Visualisierung der insg. fünf Ausprägungen zum Fixationsraum Seitenscheibe (Farbton blau bzw. grün) - vordere links (1), hintere links (2), vordere rechts (3), hintere rechts (4) und unbekannt (5)	59
Abbildung 22: Darstellung der Visualisierung der insg. vier Ausprägungen zum Fixationsraum Spiegel (Farbton rot) - Außenspiegel links (1), Außenspiegel rechts (2), Innenspiegel (3) und unbekannt (4)	59
Abbildung 23: Darstellung der Visualisierung der insg. drei Ausprägungen zum Fixationsraum Armaturen (Farbton gelb) - Instrumententafel (1), Infotainment (2), und unbekannt (3)	59
Abbildung 24: Verdeutlichung der Grundidee eine Richtungsinformation über die Positionierung des Kästchens darzustellen am Beispiels der Eigenschaft Aktion Hand der Katalogklasse Q	60

Abbildung 25: Farbtöne der Eigenschaft Bewegungsgeschwindigkeit der Katalogklasse Q (nummerierte Kästchen, von links niedrig bis rechts hoch, wobei das achte Kästchen die Ausprägung unbekannt darstellt)	60
Abbildung 26: Ausfüllungshöhe der Eigenschaft Lenkradwinkelveränderung bei einer Drehung nach links der Katalogklasse Q (nummerierte Kästchen, von links gering bis rechts hoch, wobei das neunte Kästchen die Ausprägung unbekannt darstellt) in einem der Farbtöne aus Abbildung 25	61
Abbildung 27: Beispiel einer Zeitleiste der Katalogklasse L mit drei Aktivitäten (Gas geben, vom Gas gehen und Bremsen)	61
Abbildung 28: Visualisierung der Eigenschaften und Ausprägungen der Katalogklasse S (zur Verdeutlichung werden die entsprechenden Codes der Aktivität mit angegeben)	62
Abbildung 29: Übersicht der drei Schritte der Suchlogik bzgl. Codes aus der Beschreibungssprache zu Hypothese HK6	70
Abbildung 30: Übersicht der drei Schritte der Suchlogik bzgl. Codes aus der Beschreibungssprache zu Hypothese HR4	74
Abbildung 31: Prototypischer Ablauf der charakteristischen Aktivitäten auf Basis der Literaturerkenntnisse	79
Abbildung 32: Aus der Literatur abgeleitete Verteilung der Zeitpunkte von vier charakteristischen Aktivitäten des Fahrstreifenwechsels	79
Abbildung 33: Beispiele zur Sichtbarkeit des zusätzlichen Fahrzeugs während der Versuche in VR2	80
Abbildung 34: Das brillenbasierte System <i>Dikablis</i> der Firma <i>Ergoneers</i> (links) und das fahrzeugfeste System <i>Smart Eye Pro</i> der Firma <i>Smart Eye AB</i> im eingebauten Zustand (rechts)	81
Abbildung 35: Verengung des Startfahrstreifens durch Leitkegel auf der Versuchsstrecke	82
Abbildung 36: Schematische Darstellung der Situation eines freien Fahrstreifenwechsels von rechts nach links	82
Abbildung 37: Schematische Darstellung der vier Fahrstreifenwechsel-Situationen	83
Abbildung 38: Screenshot des auf MatLab basierenden Auswertetools für CAN- und Blickbewegungsdaten	87
Abbildung 39: Screenshot zur Erweiterung des auf MatLab basierenden Auswertetools zur Analyse der Blickbewegungsdaten der zweiten Versuchsreihe	88
Abbildung 40: Ausschnitt des Signals Lenkradwinkel über der Versuchszeit und Identifikation der vorhandenen Aktivitäten	89
Abbildung 41: Darstellung der Häufigkeiten bzgl. der Ausprägungen der Eigenschaften (Teil 1/2) der Katalogklasse Querführung in VR1 (die Ausprägungsbezeichnungen können Tabelle 55 entnommen werden)	106
Abbildung 42: Darstellung der Häufigkeiten bzgl. der Ausprägungen der Eigenschaften (Teil 2/2) der Katalogklasse Querführung in VR1 (die Ausprägungsbezeichnungen können Tabelle 55 entnommen werden)	106
Abbildung 43: Boxplot-Darstellung der zeitlichen Verteilung der charakteristischen Aktivitäten zu beiden Versuchsreihen, wobei der aus der Literatur zu erwartende Zeitbereich in orange gezeigt wird (vgl. Abbildung 32)	109
Abbildung 44: Prototypischer Ablauf (von links nach rechts) der charakteristischen Aktivitäten auf Basis der Ergebnisse der beispielhaften Anwendung (Pfeile geben eine Reihenfolge an, gestrichelte Pfeile eine Tendenz zu einer Reihenfolge. Gibt es keine Verbindung zwischen den Kästchen, ist keine klare Aussage möglich)	111
Abbildung 45: Gegenüberstellung der Theorieerkenntnisse zu allgemeinen bzw. manöverspezifischen Phasen des Fahrerverhaltens aus bzw. in Anlehnung an Luczak (1975), Rudolph (2003), Fastenmeier et al. (2001), McKnight und Hundt (1971a) und Doshi und Trivedi (2008)	112
Abbildung 46: Visualisierung der Aktivitäten im Betrachtungszeitraum zu einer Beispiellrunde eines Probanden	114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Individuelle Bestimmungsgrößen menschlicher Leistung aus Schlick et al. (2010) angelehnt an Luczak (1989)	10
Tabelle 2: Übersicht von fahrzeugbezogenen Messgrößen und zugehörigen Einheiten.....	16
Tabelle 3: Übersicht von direkt fahrerbezogenen Messgrößen und zugehörigen Einheiten.....	17
Tabelle 4: Übersicht der diskriminativen und generativen Methoden bei der Fahrerabsichtserkennung nach Liebner und Klanner (2015)	18
Tabelle 5: Liste grundlegender Fahrmanöver nach Nagel und Enkelmann (1991) und Bajcsy und Nagel (1996) (Übersetzung gemäß Tölle (1996))	20
Tabelle 6: Liste der reduzierten Fahrmanöver nach Tölle (1996)	21
Tabelle 7: Liste der Fahrmanöver nach Dambier (2010)	21
Tabelle 8: Auszug aus der Vorgehensweise des „Denkzettels“ zum Manöver Fahrstreifenwechsel Hamburger Fahrlehrerverband (2016a).....	27
Tabelle 9: Übersicht der relevanten Anforderungen an die Methode an sich, die Messgrößen und hinsichtlich eines möglichen Algorithmus	40
Tabelle 10: Übersicht der Wertebereiche der horizontalen Kopfdrehung bzw. vertikalen Kopfneigung zur Katalogklasse I	43
Tabelle 11: Unterteilung der Ausprägungen zur Eigenschaft Fixationsraum der Katalogklasse I.....	44
Tabelle 12: Übersicht der Wertebereiche der Aktivitätsdauer der Katalogklasse I und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition	45
Tabelle 13: Übersicht der Wertebereiche der Bewegungsgeschwindigkeiten der Katalogklasse Q und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition	48
Tabelle 14: Übersicht der Wertebereiche der Lenkradwinkelveränderungen der Katalogklasse Q und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition	49
Tabelle 15: Übersicht der Wertebereiche der Bewegungsgeschwindigkeiten der Katalogklasse L und Aussage zur Begründung der jeweiligen Definition	51
Tabelle 16: Details zu den Messgrößen der Eigenschaften der Katalogklassen I, Q, L, S und U, Aussage zur Einschätzung der Priorität der Messgröße und zu den Möglichkeiten der Erhebung.....	64
Tabelle 17: Übersicht der Hypothesen, der enthaltenen Aktivitäten, der entsprechenden Codes des Aktivitätskatalogs, der Code-Nummerierung und der Suchlogik zu den Hypothesen der Gruppe „Katalogklassen“ (HK)	72
Tabelle 18: Übersicht der Hypothesen, der enthaltenen Aktivitäten, der entsprechenden Codes des Aktivitätskatalogs, der Code-Nummerierung und der Suchlogik zu den Hypothesen der Gruppe „Reihenfolge“ (HR)	75
Tabelle 19: Übersicht der Hypothesen, der enthaltenen Aktivitäten, der entsprechenden Codes des Aktivitätskatalogs, der Code-Nummerierung und der Suchlogik zu den Hypothesen der Gruppe „Frühzeitigkeit“ (HF)	77
Tabelle 20: Übersicht der Angaben zur durchschnittlich jährlichen Fahrleistung in km der Probanden (Fragebogen)	85
Tabelle 21: Übersicht der Angaben zur eigenen Einschätzung des Fahrertyps der Probanden aus VR1 (Fragebogen)	85
Tabelle 22: Übersicht der relevanten Kenngrößen zu den sechs identifizierten Aktivitäten zum Beispiel der Katalogklasse Q	90
Tabelle 23: Code der sechs identifizierten Aktivitäten zum Beispiel der Katalogklasse Q.....	90
Tabelle 24: Auswertungstabelle zu Hypothese HK1	91
Tabelle 25: Auswertungstabelle zu Hypothese HK2	91
Tabelle 26: Auswertungstabelle zu Hypothese HK3	92
Tabelle 27: Auswertungstabelle zu Hypothese HK4	92
Tabelle 28: Auswertungstabelle zu Hypothese HK5	92
Tabelle 29: Auswertungstabelle zu Hypothese HK6	93
Tabelle 30: Auswertungstabelle zu Hypothese HK7	93
Tabelle 31: Auswertungstabelle zu Hypothese HK8	93

Tabelle 32: Auswertungstabelle zu Hypothese HK9	94
Tabelle 33: Auswertungstabelle zu Hypothese HR1	94
Tabelle 34: Auswertungstabelle zu Hypothese HR2	94
Tabelle 35: Auswertungstabelle zu Hypothese HR3	95
Tabelle 36: Auswertungstabelle zu Hypothese HR4	95
Tabelle 37: Auswertungstabelle zu Hypothese HR5	95
Tabelle 38: Auswertungstabelle zu Hypothese HF1.....	96
Tabelle 39: Auswertungstabelle zu Hypothese HF2.....	96
Tabelle 40: Auswertungstabelle zu Hypothese HF3.....	96
Tabelle 41: Auswertungstabelle zu Hypothese HF4.....	97
Tabelle 42: Auswertungstabelle zu Hypothese HG1	97
Tabelle 43: Auswertungstabelle zu Hypothese HG2	98
Tabelle 44: Auswertungstabelle zu Hypothese HG3	98
Tabelle 45: Auswertungstabelle zu Hypothese HG4	98
Tabelle 46: Auswertungstabelle zu Hypothese HG5	99
Tabelle 47: Auswertungstabelle zu Hypothese HG6	99
Tabelle 48: Auswertungstabelle zu Hypothese HG7	99
Tabelle 49: Auswertungstabelle zu Hypothese HG8	100
Tabelle 50: Auswertungstabelle zu Hypothese HG9	100
Tabelle 51: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HK.....	101
Tabelle 52: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HR.....	103
Tabelle 53: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HF	104
Tabelle 54: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Hypothesen HG.....	104
Tabelle 55: Übersicht der Bedeutungen der Ausprägungen	107

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control, Abstandsregeltempomat
AOI	Areas of Interest
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CAN	Controller Area Network
d.h.	das heißt
DETA	Driver Education Task Analysis
engl.	englisch
FAS	Fahrerassistenzsystem
FSW	Fahrstreifenwechsel
GDI	Guidelines for Driver Instructions
ggf.	gegebenenfalls
HF	Hypothesen zur Frühzeitigkeit
HG	Hypothesen zur Gleichmäßigkeit
Hg.	Herausgeber
HK	Hypothesen zu den Katalogklassen
HR	Hypothesen zur Reihenfolge
HRT	Handlungsregulationstheorie
HTAoD	Hierarchical Task Analysis of Driving
inkl.	inklusive
insg.	insgesamt
LDW	Lane Departure Warning, Spurverlassenswarner
LKW	Lastkraftwagen
OECD	Organisation For Economic Co-Operation And Development
PKW	Personenkraftwagen
SAFE	Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben
STEP	Sequentially Timed Events Plotting
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
TLC	Time-To-LineCrossing
TTC	Time-To-Collision
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
ugs.	umgangssprachlich
vgl.	vergleiche
VR1	Versuchsreihe 1 (im Jahr 2013)
VR2	Versuchsreihe 2 (im Jahr 2014)
z.B.	zum Beispiel

Literaturverzeichnis

- Abendroth, B. (2001): Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen. Stuttgart: Ergonomia Verlag (Schriftenreihe Ergonomie).
- Abendroth, B.; Bruder, R. (2015): Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Abendroth, B.; Bruder, R.; Fuchs, K.; Schramm, T. (2009): Beurteilung von Systemen im Fahrzeug – welche Messmethoden sind geeignet? In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 63 (3).
- ACE (2008): Reviere der Blinkmuffel. Auto Club Europa. Online verfügbar unter https://www.ace-online.de/fileadmin/user_uploads/Der_Club/Dokumente/10.07.2008_Grafik_Blinkmuffel_1.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Achtziger, A.; Gollwitzer, P. M. (2009): Rubikonmodell der Handlungsphasen. In: V. Brandstätter und J. H. Otto (Hg.): Handbuch der Allgemeinen Psychologie - Motivation und Emotion. Göttingen: Hogrefe (Handbuch der Psychologie, 11), S. 150–156.
- Achtziger, A.; Gollwitzer, P. M. (2010): Motivation und Volition im Handlungsverlauf. In: J. Heckhausen und H. Heckhausen (Hg.): Motivation und Handeln. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Aichele, C. (2006): Intelligentes Projektmanagement. Stuttgart: W. Kohlhammer.
- Ajzen, I.; Madden, T. J. (1986): Prediction of Goal-Directed Behavior: Attitudes, Intentions, and Perceived Behavioral Control. In: *Journal of Experimental Social Psychology* (22), S. 453–474.
- Allen, T. H.; Lunenfeld, H.; Alexander, G. J. (1971): Driver Information Needs. In: *Highway Research Record* 36, S. 102–115.
- Bajcsy, R.; Nagel, H.-H. (1996): Descriptive and Prescriptive Languages for Mobility Tasks: Are They Different? In: K. Bowyer und N. Ahuja (Hg.): Advances in Image Understanding. A Festschrift for Azriel Rosenfeld. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, S. 280–300.
- Bär, T.; Aidel, J.; Zöllner, J. M. (2012): Szenenbasierte Fahrstilerkennung durch probabilistische Auswertung der Fahrzeugdaten. Poster. In: 5. Tagung Fahrerassistenz. Schwerpunkt Vernetzung. München.
- Bartels, A.; Meinecke, M.-M.; Steinmeyer, S. (2015a): Fahrstreifenwechselassistentz. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 959–974.
- Bartels, A.; Rohlf, M.; Hamel, S.; Saust, F.; Klauske, L. K. (2015b): Querführungsassistentz. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bauer, C.; Gonter, M.; Rojas, R. (2010): Fahrerspezifische Analyse des Fahrverhaltens zur Parametrierung aktiver Sicherheitssysteme. In: 4. Tagung Sicherheit durch Fahrerassistenz. Neu im Fokus: Elektromobilität. München.
- Bauer, M. (2016): Ermittlung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers während eines Fahrstreifenwechsels und möglicher Muster. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Bender, E. (2008): Handlungen und Subjektivurteile von Kraftfahrzeugführern bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines Unterstützungssystems zur Kollisionsvermeidung. Stuttgart: Ergonomia Verlag.

- Bengler, K.; Dietmayer, K.; Färber, B.; Maurer, M.; Stiller, C.; Winner, H. (2014): Three Decades of Driver Assistance Systems. Review and Future Perspectives. In: *IEEE Intell. Transport. Syst. Mag.* 6 (4), S. 6–22.
- Benmimoun, M.; Fahrenkroq, F.; Zlocki, A.; Eckstein, L. (2012): Erkennung und Klassifizierung kritischer Fahrsituationen mittels Fahrzeugdaten. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* 114 (10), S. 820–826.
- Berndt, H.; Emmert, J.; Dietmayer, K. (2008): Continuous Driver Intention Recognition with Hidden Markov Models. In: IEEE (Hg.): Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Beijing, China, S. 1189–1194.
- Birkhofer, H.; Bohn, A. (2012): Angewandte Produktentwicklung. Wintersemester 2012/2013. Skript. Technische Universität Darmstadt.
- Blaschke, C.; Schmitt, J.; Färber, B. (2007): Fahrmanöver-Prädiktion über CAN-Bus Daten. In: VDI (Hg.): Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Human Machine Interface. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 2015).
- Blaschke, C.; Schmitt, J.; Färber, B. (2008): Überholmanöver-Prädiktion über CAN-Bus-Daten. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* 110 (11), S. 1022–1029.
- Breuer, J. J. (1996): Ergonomische Beurteilung und Gestaltung der Sicherheit des Arbeitssystems Kraftfahrzeugführen. Düsseldorf: VDI Verlag (Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, 271).
- Breuer, J. J. (1998): Analyse des Lenkverhaltens von Autofahrern in einem extremen Ausweichmanöver und im realen Straßenverkehr. In: K. Landau (Hg.): Mensch-Maschine-Schnittstellen. Methoden, Ergebnisse und Weiterentwicklung arbeitswissenschaftlicher Forschung. Stuttgart: Verlag Institut für Arbeitsorganisation, S. 183–187.
- Bruder, R.; Abendroth, B.; Landau, K. (2007): Zum Nutzen von Fahrversuchen für die Gestaltung. In: R. Bruder und H. Winner (Hg.): Wie objektiv sind Fahrversuche? Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug. Stuttgart: Ergonomia Verlag, S. 79–96.
- Bubb, H. (2002): Der Fahrprozess - Informationsverarbeitung durch den Fahrer. In: VDA - Technischer Kongress. Sicherheit durch Elektronik. Stuttgart.
- Bubb, H. (2015a): Der Mensch als Fahrer. In: H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen und M. Vollrath (Hg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 67–162.
- Bubb, H. (2015b): Fahrerassistenz. In: H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen und M. Vollrath (Hg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 525–582.
- Bukasa, B.; Wenninger, U. (1985): Beziehung zwischen verkehrspsychologischen Testverfahren und Kriterien des Fahrverhaltens unter Verwendung einer Fahrertypologie. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 31 (2), S. 80–85.
- Bulling, A.; Ward, J. A.; Gellersen H.; Tröster, G. (2009): Eye Movement Analysis for Activity Recognition. In: Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing. New York, S. 41–50.
- Cheng, S. Y.; Trivedi, M. (2006): Turn-Intent Analysis Using Body Pose for Intelligent Driver Assistance. In: *IEEE Pervasive Comput.* 5 (4), S. 28–37.
- Dambier, M. (2010): Adaptive Information Flow Control. Recognition and Prediction of Factors Contributing to Driver's Stress. Tönning, Lübeck, Marburg: Der andere Verlag.
- Destatis (2013): Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2012. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden (Begleitmaterial zur Pressekonferenz).
- Destatis (2015): Verkehrsunfälle 2014. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden (Fachserie 8, Reihe 7).

-
- DGUV (2013): Messblatt Wirbelsäule (nach der Neutral-0-Methode). Formtexte von Ärzten, Leistungserbringern. Online verfügbar unter http://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/F_6222/F6222.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Diem, C. (2005): Blickverhalten von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr. München: Herbert Utz Verlag.
- DIN EN ISO 15007-1, 2015: DIN EN ISO 15007-1 - Straßenfahrzeuge - Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen mit Fahrerinformations- und -assistenzsystemen - Teil 1: Begriffe und Parameter.
- DIN EN ISO 9241-11, 1999: DIN EN ISO 9241-11 - Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11 : Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze.
- DIN EN ISO 9241-110, 2008: DIN EN ISO 9241-110 - Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung.
- DIN EN ISO 9241-5, 1999: DIN EN ISO 9241-5 - Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung.
- Donges, E. (1982): Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: *Automobil-Industrie* (2), S. 183–190.
- Donges, E. (2015): Fahrerhaltensmodelle. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Doshi, A.; Trivedi, M. (2008): A Comparative Exploration of Eye Gaze and Head Motion Cues for Lane Change Intent Prediction. In: IEEE (Hg.): *Intelligent Vehicles Symposium*. Eindhoven, S. 49–54.
- Doshi, A.; Trivedi, M. (2011): Tactical driver behavior prediction and intent inference: A review. In: IEEE (Hg.): *14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Washington, D.C., S. 1892–1897.
- Doshi, A.; Trivedi, M. M. (2009): On the Roles of Eye Gaze and Head Dynamics in Predicting Driver's Intent to Change Lanes. In: *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 10 (3), S. 453–462.
- Dostal, M. (2013): Prozessketten in der Automobilindustrie am Beispiel Nutzfahrzeuge. Vorlesungsfolien. Technische Universität Darmstadt.
- Duden (2016): Aktivität. Online verfügbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/Aktivitaet>, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- DVR (2007): Blinkmuffel gefährden den Verkehr. In: DVR (Hg.): *DVR Report*. Fachmagazin für Verkehrssicherheit. Nr. 2/2007, S. 15.
- Eckstein, P. P. (2016): *Angewandte Statistik mit SPSS. Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Ehlich, K.; Rehbein, J. (1979): Sprachliche Handlungsmuster. In: H.-G. Soeffner (Hg.): *Interpretative Verfahren in den Sozial- und Textwissenschaften*. Stuttgart: J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, S. 243–274.
- Eysel, U. (2007): Sehen und Augenbewegungen. In: R. F. Schmidt und F. Lang (Hg.): *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, S. 377–420.
- Färber, B. (1986): Abstandswahrnehmung und Bremsverhalten von Kraftfahrern im fließenden Verkehr. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* (32), S. 9–13.
- Fastenmeier, W.; Gstalter, H. (1991): Driving Tasks And New Information Technologies. In: ICTCT. *International Co-Operation On Theories And Concepts In Traffic Safety. Proceedings Of The 4th Workshop in Vienna*. Lund: Institute Of Technology, S. 21–32.

-
- Fastenmeier, W.; Gstalter, H. (2003): Entwicklung und Anwendung einer neuen Methodik zur Fahraufgabenanalyse. In: VDI (Hg.): Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1768).
- Fastenmeier, W.; Gstalter, H. (2007): Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. In: *Safety Science* 45 (9), S. 952–979.
- Fastenmeier, W.; Gstalter, H. (2008): Anforderungsgerechtes Autofahren im Alter. In: B. Schlag (Hg.): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter. Köln: TÜV Media GmbH (Mobilität und Alter, 3), S. 37–64.
- Fastenmeier, W.; Hinderer, J.; Lehnig, U.; Gstalter, H. (2001): Analyse von Spurwechselvorgängen im Verkehr. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 55 (1), S. 15–23.
- Fecher, N.; Hoffmann, J. (2015): Fahrerwarnelemente. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 675–685.
- Fell, J. C. (1976): A Motor Vehicle Accident Causal System: The Human Element. In: *Human Factors* 18 (1), S. 85–94.
- Fernandes Estrela, N. (2016): Ermittlung von Anforderungen an eine Intentionserkennung und Weiterentwicklung eines Katalogs zu Aktivitäten eines Fahrzeugführers. Bachelorthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Fishbein, M.; Ajzen, I. (1975): Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research. Reading: Addison-Wesley.
- Frei, F. (1981): Psychologische Arbeitsanalyse - eine Einführung zum Thema. In: F. Frei und E. Ulich (Hg.): Beiträge zur psychologischen Arbeitsanalyse. Bern: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 31), S. 11–36.
- Funke, J. (2003): Unterrichtsmaterialien zur Vorlesung Allgemeine Psychologie. Grundbegriffe und Grundfragen. Psychologisches Institut der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Online verfügbar unter <http://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/m/M01/M0102beg.htm>, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Godlewsky, T. (2008): Piktogramm. In: M. Erlhoff und T. Marshall (Hg.): Wörterbuch Design. Begriffliche Perspektiven des Design. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, S. 311–312.
- Greif, S.; Holling, H.; Nicholson N. (1989): Theorien und Konzepte - Ein einführender Überblick. In: S. Greif, H. Holling und Nicholson N. (Hg.): Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen. München: Psychologie Verlags Union, S. 3–19.
- Grißhaber, W. (2006): Einführung in die praktische Sprachanalyse. Glossar - Handlungsmuster. Sprachenzentrum der WWU Münster. Online verfügbar unter <http://spzwww.uni-muenster.de/griesha/def/prg-handlungsmuster.html>, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Gründl, M. (2002): Analyse des Fahrerverhaltens vor dem Unfall - eine Methode für eine verbesserte Fehleranalyse bei der Untersuchung realer Verkehrsunfälle. In: 38. BDP- Kongress für Verkehrspsychologie Universität Regensburg. Saarbrücken: Universitäts- und Landesbibliothek.
- Gründl, M. (2005): Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. Dissertation. Universität Regensburg.
- Gründl, M. (2016): Vom Fahrsimulator bis zu Naturalistic Driving Studies. Wissenschaftliche Qualitätskriterien für Fahrerverhaltensbeobachtungen. Whitepaper. Ergoneers GmbH.
- Grzesik, A. (2009): Physiologiebasierte Simulation des Bremsverhaltens von Fahrzeugführern. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau (Kraftfahrzeugtechnische Berichte, 2).
- Haase, H. (2000): Die Qualität wissenschaftlich-technischer Visualisierungen. Konzepte und Fallstudien. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

- Habenicht, S. (2012): Entwicklung und Evaluation eines manöverbasierten Fahrstreifenwechselsassistenten. Dissertation. Technische Universität Darmstadt.
- Hacker, W. (1973): Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten. Berlin: VEB - Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Haken, K.-L. (2015): Fahrdynamik - Fahrleistungen begrenzt durch Kraftschluss. In: K.-L. Haken (Hg.): Grundlagen der Kraftfahrzeugtechnik. München: Carl Hanser, S. 214–280.
- Hamburger Fahrlehrerverband (2016a): Denkkzettel Fahrstreifenwechsel. Online verfügbar unter http://www.fahrlehrerverband-hamburg.de/fileadmin/fahrlehrerverband-hamburg/Dokumente/Ausbildungshilfen/Fahrstreifenwechsel_10.10.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Hamburger Fahrlehrerverband (2016b): Die praktische Ausbildung. Online verfügbar unter <http://www.fahrlehrerverband-hamburg.de/fuehrerschein/fahrausbildung/praktische-ausbildung/#c2111>, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Hammer, W. (1997): Wörterbuch der Arbeitswissenschaft. Begriffe und Definitionen. Herausgegeben von REFA - Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V. München: Carl Hanser.
- Hammoud, R. I.; Mulligan, J. B. (2008): Introduction to Eye Monitoring. In: R. I. Hammoud (Hg.): Passive Eye Monitoring. Algorithms, Applications and Experiments. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (Signals and communication technology), S. 1–19.
- Heckhausen, H.; Gollwitzer, P. M. (1987): Thought Contents and Cognitive Functioning in Motivational versus Volitional States of Mind. In: *Motivation and Emotion* 11 (2), S. 101–120.
- Heine, J. (i.V.): Entwicklung eines Algorithmus zur Prädiktion von Fahrstreifenwechseln. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Heine, J.; Krämer, I.; Achieser, I.; Langer, I.; Schramm, T.; Abendroth, B. (2015): Bewertung von Prädiktoren zur Fahrerintentionserkennung. In: 5. Berliner Fachtagung Fahrermodellierung. Fahrermodelle in Wissenschaft und Wirtschaft. Berlin.
- Henning, M. J. (2010): Preparation for lane change manoeuvres: Behavioural indicators and underlying cognitive processes. Dissertation. Technische Universität Chemnitz.
- Henning, M. J.; Georgeon, O.; Krems, J. F. (2007): The Quality of Behavioral and Environmental Indicators Used to Infer the Intention to Change Lane. In: Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design. Stevenson, Washington, S. 231–237.
- Herrera, I. A.; Woltjer, R. (2009): Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. In: S. Martorell, C. G. Soares und J. Barnett (Hg.): Safety, reliability and risk analysis. Theory, methods and applications. London: Taylor & Francis, S. 19–26.
- Heuser, S. (2013): Entwicklung eines Konzeptes zu Fahrversuchen im Rahmen einer Fahrerverhaltensprädiktion. Studienarbeit. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Hoischen, H.; Fritz, A. (2014): Technisches Zeichnen. Grundlagen, Normen, Beispiele, darstellende Geometrie. Berlin: Cornelsen.
- Holzheimer, F. (2014): Entwurf und Validierung eines Katalogs von Handlungsschritten eines Fahrzeugführers zur Fahrerverhaltensprädiktion. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Hommel, B. (2002): Planungen und exekutive Kontrolle von Handlungen. In: J. Müsseler und W. Prinz (Hg.): Allgemeine Psychologie. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, S. 794–861.

-
- Hommel, B.; Nattkemper, D. (2011): Handlungspsychologie. Planung und Kontrolle intentionalen Handelns. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hudelmaier, J. (2003): Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika. Dissertation. Technische Universität München.
- Huguenin, R. D. (1988): Fahrerverhalten in Straßenverkehr. Ein Beitrag zur Theorienbildung in der Verkehrspsychologie. Braunschweig: Rot-Gelb-Grün.
- Hummel, T.; Kühn, M.; Bende, M.; Lang, A. (2011): Fahrerassistenzsysteme. Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadensgeschehens der deutschen Versicherer. Berlin: GDV (Forschungsbericht Fahrzeugsicherheit - FS 03).
- IEEE (1990): IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. Std 610.12-1990. New York: IEEE.
- INVENT (2005): INVENT „erfahren“ – mobil mit 8 Sinnen. Ergebnisbericht. Online verfügbar unter <http://www.tuvpt.de/fileadmin/pdf/INVENT-Ergebnisse.pdf>, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Irmscher, M. (2001): Modellierung von Individualität und Motivation im Fahrerverhalten. In: T. Jürgensohn und K.-P. Timpe (Hg.): Kraftfahrzeugführung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 119–133.
- Kahnemann, D. (1973): Attention and Effort. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Karrer-Gauß, K. (2012): Prospektive Bewertung von Systemen zur Müdigkeitserkennung. Dissertation. Technische Universität Berlin.
- Karsh, R.; Breitenbach, F. W. (1983): Looking at Looking: The Amorphous Fixation Measure. In: R. Groner, C. Menz, D. F. Fisher und R. A. Monty (Hg.): Eye Movements and Psychological Functions: International Views. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, S. 53–64.
- Kasper, D. (2012): Erkennung von Fahrmanövern mit objektorientierten Bayes-Netzen in Autobahnszenarien. Dissertation. Eberhard Karls Universität Tübingen.
- Kassaagi, M.; Perron, T.; Pean, E.; Guillemot, H.; Bocquet, J.-C.; Le Coz, J.-Y. (1999): Study of drivers' behavior in rear-end accident situations on a driving simulator. In: Proceedings of the Driving Simulation Conference (DSC). Paris.
- Kiesewetter, W.; Klinker, W.; Reichelt, W. Steiner, M. (1997): Der neue Bremsassistent von Mercedes-Benz. Aktive Fahrerunterstützung in Notsituationen. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* 99 (6), S. 330–339.
- Klebensberg, D. von (1963): Ergebnis einer Verhaltensanalyse des Kraftfahrers. In: *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* 10, S. 597–603.
- Kobiela, F. (2011): Fahrerintentionserkennung für autonome Notbremssysteme. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- König, W. (2015): Nutzergerechte Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 621–632.
- Kopf, M. (2005): Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen? In: M. Maurer und C. Stiller (Hg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 117–139.
- Kretschmer, M.; König, L.; Neubeck, J.; Wiedemann, J. (2006): Erkennung und Prädiktion des Fahrerverhaltens während eines Überholvorgangs. In: 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. München.

-
- Langer, I.; Abendroth, B.; Bruder, R. (2015a): Fahrerzustandserkennung. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 687–699.
- Langer, I.; Heine, J.; Abendroth, B.; Bruder, R. (2014): Herausforderungen beim Hervorrufen von kritischen Brems- oder Lenkreaktionen in Fahrversuchen zur Untersuchung der Fahrerintention. In: GfA (Hg.): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA Press, S. 516–519.
- Langer, I.; Holzheimer, F.; Heine, J.; Abendroth, B.; Bruder, R. (2015b): Development and partial validation of a catalogue of action steps for a car driver. In: G. Lindgaard und D. Moore (Hg.): The Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA). Melbourne.
- Lashin, G. (2013): Engineering Change Management. In: J. Feldhusen und Grote K.-H. (Hg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 110–124.
- Lee, S. E.; Olsen, E. C. B.; Wierwille, W. W. (2004): A Comprehensive Examination of Naturalistic Lane-Changes. DOT HS 809 702. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration (DOT).
- Leitner, K.; Volpert, W.; Greiner, B.; Weber, W.; Hennes, K. (1987): Analyse psychischer Belastung in der Arbeit. Das RHIA-Verfahren. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Leplat, J. (1989): Arbeits- und Aufgabenanalyse. In: S. Greif, H. Holling und Nicholson N. (Hg.): Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen. München: Psychologie Verlags Union, S. 141–144.
- Lethaus, F.; Baumann, M. R. K.; Köster, F.; Lemmer, K. (2011): Using Pattern Recognition to Predict Driver Intent. In: A. Dobnikar, A. Lotrič und B. Šter (Hg.): ICANNGA 2011. Part I - LNCS 6593. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 140–149.
- Levesque, A.; Johrendt, J. (2011): The State of the Art of Driver Model Development. SAE Technical Paper 2011-01-0432: SAE International.
- Liebner, M.; Klanner, F. (2015): Fahrerabsichtserkennung und Risikobewertung. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 701–719.
- Liebner, M.; Klanner, F.; Stiller, C. (2012): Der Fahrer im Mittelpunkt - Eye-Tracking als Schlüssel zum mitdenkenden Fahrzeug? In: 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme. Darmstadt: Uni-DAS e.V., S. 87–96.
- Lindsay, P. H.; Norman, D. A. (1972): Human Information Processing. An Introduction to Psychology. New York, London: Academic Press.
- Luczak, H. (1975): Untersuchung informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen. Düsseldorf: VDI Verlag (Angewandte Informatik, Elektronische Datenverarbeitung, 2).
- Luczak, H. (1989): Wesen menschlicher Leistung. Gestaltungsbereiche für menschliche Leistungen. In: W. Brokmann (Hg.): Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. Taschenbuch für den Praktiker. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem, S. 54–65.
- Maier, F. (2014): Wirkpotentiale moderner Fahrerassistenzsysteme und Aspekte ihrer Relevanz für die Fahrausbildung. Korntal-Münchingen: Deutsche Fahrlehrer-Akademie e.V.
- Mammar, S.; Glaser, S.; Netto, M. (2006): Time to Line Crossing for Lane Departure Avoidance: A Theoretical Study and an Experimental Setting. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 7 (2), S. 226–241.

-
- Manstetten, D.; Bengler, K.; Busch, F.; Färber, B.; Lehsing, C.; Neukum, A. et al. (2013): "UR:BAN MV" – a German project focusing on human factors to increase traffic safety in urban areas. In: ITS (Hg.): Proceedings of the 20th ITS World Congress. Tokio.
- Margraf, J.; Schneider, S. (2009): Glossar. In: J. Margraf und S. Schneider (Hg.): Lehrbuch der Verhaltenstherapie. Band 2: Störungen im Erwachsenenalter – Spezielle Indikationen – Glossar. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, S. 659–744.
- Martins Ferreira, M. (2015): Analyse von Handlungsschritten eines Fahrzeugführers während Notmanövern und Weiterentwicklung einer Visualisierungsmöglichkeit. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- McKnight, A. J.; Adams, B. B. (1970a): Driver Education Task Analysis. Volume I: Task Descriptions. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration (DOT).
- McKnight, A. J.; Adams, B. B. (1970b): Driver Education Task Analysis. Volume II: Task Analysis Methods. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration (DOT).
- McKnight, A. J.; Hundt, A. G. (1971a): Driver Education Task Analysis. Volume III: Instructional Objectives. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration (DOT).
- McKnight, A. J.; Hundt, A. G. (1971b): Driver Education Task Analysis. Volume IV: The Development of Instructional Objectives. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration (DOT).
- Meitinger, K. H. (2008): Top-Down-Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen für Kreuzungen. Dissertation. Technische Universität München.
- Meyer, O. (2008): Einflusses eines Nachtsichtsystems auf das Fahr- und Blickverhalten älterer Fahrer: Vergleich eines Head-Up Displays mit einem Head-Down Display. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Miller, G. A.; Galantner, E.; Pribram, K. H. (1973): Strategien des Handelns. Pläne und Strukturen des Verhaltens. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Morris, B.; Doshi, A.; Trivedi, M. (2011): Lane Change Intent Prediction for Driver Assistance: On-Road Design and Evaluation. In: IEEE (Hg.): Proceedings of the Intelligent Vehicles Symposium (IV). Baden Baden, S. 895–901.
- Mourant, R. R.; Donohue, R. J. (1977): Acquisition of indirect information by novice, experienced, and mature drivers. In: *Journal of Safety Research* 9 (1), S. 39–46.
- Mühlfelder, M. (2003): Das kollektive Handlungsfeld. Ein psychologisches Konzept zur Modellierung interpersonal koordinierten Handelns. Dissertation. Universität Flensburg.
- Nagel, H.-H.; Enkelmann, W. (1991): Generic Road Traffic Situations and Driver Support Systems. In: Proceedings of the 5th PROMETHEUS Workshop. München, S. 76–85.
- North, K.; Stapleton, C.; Vogt, C. (1982): Ergonomics Glossary. Terms Commonly Used in Ergonomics. Utrecht, Antwerpen: Bohn, Scheltema & Holkema.
- OECD (1981): Guidelines For Driver Instruction. Road Research. Organisation For Economic Co-Operation And Development. Paris: OECD.
- Oesterreich, R.; Leitner, K. (1989): Handlungspsychologische Arbeitsanalyseverfahren "VERA" und "RHIA". In: S. Greif, H. Holling und Nicholson N. (Hg.): Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen. München: Psychologie Verlags Union, S. 240–244.
- Olsen, E. C. B. (2003): Modeling Slow Lead Vehicle Lane Changing. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Olsen, E. C. B.; Lee, S. E.; Wierwille, W. W. (2005): Eye Glance Behavior During Lane Changes And Straight-Ahead Driving. In: Transportation Research Board Meeting. Washington, D.C.

- Ponziani, R. (2012): Turn Signal Usage Rate Results: A Comprehensive Field Study of 12,000 Observed Turning Vehicles. SAE Technical Paper 2012-01-0261: SAE International.
- Raithel, J.; Widmer, A. (2012): Deviantes Verkehrsverhalten. Grundlagen, Diagnostik und verkehrspsychologische Therapie. Göttingen: Hogrefe.
- Rasmussen, J. (1983): Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and other Distinctions in Human Performance Models. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans* 13 (3), S. 257–266.
- Reid, L. D.; Solowka, E. N.; Billing, A. M. (1981): A systematic study of driver steering behaviour. In: *Ergonomics* 24 (6), S. 447–462.
- Risse, H.-J. (1991): Das Fahrerverhalten bei normaler Fahrzeugführung. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Fortschrittsbericht Reihe 12, 160).
- Rockwell, T. (1972): Skills, Judgment and Information Acquisition in Driving. In: T. W. Forbes (Hg.): Human factors in highway traffic safety research. New York: John Wiley & Sons, S. 133–164.
- Roethlisberger, F. J.; Dickson, W. J. (1964): Management and the worker. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Rohmert, W. (1984): Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38 (4), S. 193–200.
- Rudolph, U. (2003): Motivationspsychologie. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Saad, F. (1975): Structuration de la tâche et activités perceptives dans la conduite automobile. Document Interne ONSER.
- Saad, F. (1991): A Conceptual Framework and a Methodology for the Analysis of Road Situations and Driver Activity: An Application to the Negotiation of Intersections. In: Behavioural Research in Road Safety. Seminar. Manchester University, S. 117–127.
- Saint-Mont, U. (2011): Statistik im Forschungsprozess. Eine Philosophie der Statistik als Baustein einer integrativen Wissenschaftstheorie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; Physica-Verlag.
- Salvucci, D. D. (2006): Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture. In: *Human Factors* 48 (2), S. 362–380.
- Salvucci, D. D.; Liu, A. (2002): The time course of a lane change: Driver control and eye-movement behavior. In: *Transportation Research Part F* 5, S. 123–132.
- Sanders, A. F. (1983): Towards a Modell of Stress and Human Performance. In: *Acta Psychologica* 53, S. 61–97.
- Schildger, D. (2014): Analyse von Ergebnissen einer Probandenstudie zur Untersuchung des Fahrerverhaltens und Weiterentwicklung des Studiendesigns. Bachelorthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.
- Schlick, C. M.; Bruder, R.; Luczak, H. (2010): Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schmidt, K.; Beggiato, M.; Hoffmann, K. H.; Krems, J. F. (2014): A mathematical model for predicting lane changes using the steering wheel angle. In: *Journal of Safety Research* 49, S. 85–90.
- Schmidtke, H. (1993): Belastung und Beanspruchung. Der Leistungsbegriff in der Ergonomie. In: H. Schmidtke (Hg.): Ergonomie. München, Wien: Carl Hanser, S. 110–116.
- Schmidtke, H.; Jastrzebska-Fraczek, I. (2013): Ergonomie. Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmungen. München: Carl Hanser.
- Schmitt, J.; Färber, B. (2005): Verbesserung von FAS durch Fahrerabsichtserkennung mit Fuzzy Logic. In: VDI (Hg.): Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Der Mensch als Faktor und seine Interaktion mit dem Fahrzeug. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1919), S. 177–186.

Schneider, J. H. (2009): Modellierung und Erkennung von Fahrsituationen und Fahrmanövern für sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, Chemnitz. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.

Schopper, M.; Mehren, D.; Baumann, M.; Köhnlein, J. (2011): Der beste Unfall ist der, der nicht passiert. M-Klasse - Fahrerassistenzsysteme. In: *ATZ extra* (Dezember 2011), S. 100–109.

Schreiner-Hecheltjen, J. (2015): Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung in der Medizin. Aus der Praxis für die Praxis. Berlin, Münster: LIT Verlag.

Schroven, F. (2011): Probabilistische Situationsanalyse für eine adaptive automatisierte Fahrzeuglängsführung. Dissertation. Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig.

Schurz, G. (2014): Einführung in die Wissenschaftstheorie. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG).

Schweigert, M.; Bubb, H. (2003): Einfluss von Nebenaufgaben auf das Fahrerblickverhalten. In: VDI (Hg.): *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme*. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 1768), S. 59–74.

Sommer, F. (2016): Ermittlung von Aktivitäten eines Fahrzeugführers während eines Fahrstreifenwechsels und möglicher Muster. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.

Sonnleitner, A.; Treder, M. S.; Simon, M.; Willmann, S.; Ewald, A.; Buchner, A.; Schrauf, M. (2014): EEG alpha spindles and prolonged brake reaction times during auditory distraction in an on-road driving study. In: *Accident Analysis and Prevention* 62, S. 110–118.

Sporrer, A.; Prell, G.; Buck, J.; Schaible, S. (1998): Realsimulation von Spurwechselvorgängen im Straßenverkehr. In: *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 36 (3).

Stanton, N. A.; Salmon, P. M.; Walker, G. H.; Babel, C.; Jenkins, D. P. (2013): *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Farnham, Surrey: Ashgate.

Staufer, M. J. (1987): *Piktogramme für Computer. Kognitive Verarbeitung, Methoden zur Produktion und Evaluation*. Berlin, New York: de Gruyter.

StVO (2013): *Straßenverkehrsordnung*. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvo_2013/gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2016.

StVZO (2012): *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung*. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvzo_2012/gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2016.

Sylla, M. (2015): Entwicklung eines Algorithmus zur Fahrmanöverprädiktion mit Methoden der Fuzzy-Logik. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt. Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik.

Telpaz, A.; Rhindress, B.; Zelman, I.; Tsimhoni, O. (2015): Haptic Seat for Automated Driving: Preparing the Driver to Take Control Effectively. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. AutomotiveUI. Nottingham, S. 23–30.

Tingvall, C.; Haworth, N. (1999): Vision Zero - An ethical approach to safety and mobility. In: *6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement*. Melbourne.

Tölle, W. (1996): Ein Fahrmanöverkonzept für einen maschinellen Kopiloten. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Fortschrittsbericht Reihe 12, 299).

Ulich, E. (1991): *Arbeitspsychologie*. Zürich, Stuttgart: Verlag der Fachvereine & C. E. Poeschel Verlag.

Uzar, K. (2015): Entwicklung einer Methode zur Beschreibung und Visualisierung von Handlungsschritten eines Fahrzeugführers. Bachelorthesis. Technische Universität Darmstadt. Institut für Arbeitswissenschaft.

-
- VDI 2221, 1993: VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- Volpert, W.; Oesterreich, R.; Gablenz-Kolakovic, S.; Krogoll, T.; Resch, M. (1983): Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen in der Arbeitstätigkeit (VERA). Analyse von Planungs- und Denkprozessen in der industriellen Produktion. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Walker, G. H.; Stanton, N. A.; Salmon, P. M. (2015): Human Factors in Automotive Engineering and Technology. Farnham, Surrey: Ashgate.
- Weiß, J. (2003): Beitrag zur Entwicklung eines optimierten Bremsassistenten. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Welford, A. T. (1960): The measurement of sensory-motor performance: Survey and reappraisal of twelve years' progress. In: *Ergonomics* Vol. 3 (3), S. 189–230.
- Wickens, C. D. (1992): Engineering Psychology and Human Performance. 2. Auflage. New York: Harper Collins.
- Wickens, C. D.; Hollands, J. G. (1999): Engineering Psychology and Human Performance. 3. Auflage. Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- Wierwille, W. W. (1993): Demands on Driver Resources Associated with Introducing Advanced Technology into the Vehicle. In: *Transportation Research Part C* 1 (2), S. 133–142.
- Wierwille, W. W.; Gutmann, J. C. (1978): Comparison of Primary and Secondary Task Measures as a Function of Simulated Vehicle Dynamics and Driving Conditions. In: *Human Factors* 20 (2), S. 233–244.
- Williams, E. M. (2008): Analyse des Fahrerverhaltens in ausgewählten innerstädtischen Kreuzungssituationen. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Winner, H. (2015): Quo vadis, FAS? In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 1167–1186.
- Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hg.) (2012): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Winsum, W. van; Waard, D. de; Brookhuis, K. A. (1999): Lane change manoeuvres and safety margins. In: *Transportation Research Part F* (2), S. 139–149.
- Zademach, M. (2016): Analyse des Fahrerverhaltens an innerstädtischen Kreuzungen: Ermittlung von Anforderungen an ein System zur Vermeidung von Kollisionen. Dissertation (noch unveröffentlicht). Universität der Bundeswehr München.